



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 141599

**STUDI KOORDINASI PROTEKSI PADA PT PERTAMINA
JOB MEDCO ENERGI TOMORI FIELD SENORO**

Abdul Wakil
NRP 2212 100 067

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.
Dimas Anton Asfani, S.T., M.T., Ph.D.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TE 141599

**STUDY OF PROTECTION COORDINATION ON PT
PERTAMINA JOB MEDCO ENERGI TOMORI FIELD
SENORO**

Abdul Wakil
NRP 2212 100 067

Advisor
Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.
Dimas Anton Asfani, S.T., M.T., Ph.D.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**Studi Koordinasi Proteksi pada PT Pertamina JOB Medco Energi Tomori Field Senoro**” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Januari 2017

Abdul Wakil
NRP. 2212 100 067

**STUDI KOORDINASI PROTEKSI
PADA PT PERTAMINA JOB MEDCO ENERGI
TOMORI FIELD SENORO**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada**

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

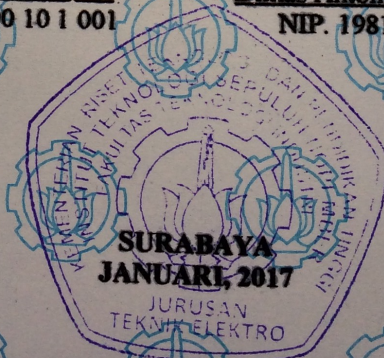
Menyetujui:

Dosen Pembimbing 1

Dr. Ir. Margo Pujiatara, M.T.
NIP. 1966 03 18 1990 10 1 001

Dosen Pembimbing 2

Dimas Anton Asfani, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 1981 09 05 2005 01 1 002



STUDI KOORDINASI PROTEKSI PADA PT PERTAMINA JOB MEDCO ENERGI TOMORI FIELD SENORO

Abdul Wakil
2212100067

Dosen Pembimbing 1 : Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.

Dosen Pembimbing 2 : Dimas Anton Asfani, S.T., M.T., Ph.D.

ABSTRAK

Sistem kelistrikan yang aman dan handal merupakan salah satu tujuan utama yang harus terpenuhi dalam bidang industri. Dalam mewujudkan hal tersebut, dibutuhkan sistem proteksi yang efektif dan selektif dalam mengatasi gangguan pada sistem kelistrikan. Sejak dibangun, PT Pertamina JOB Medco Energi Tomori Field Senoro belum pernah dilakukan studi mengenai koordinasi proteksi. Oleh karena itu, perlu dilakukan studi koordinasi proteksi untuk menjamin keamanan dan kehandalan pada sistem kelistrikan di PT Pertamina JOB Medco Energi Tomori Field Senoro. Pada tugas akhir ini akan dilakukan perhitungan dan simulasi koordinasi proteksi pada sistem kelistrikan PT Pertamina JOB Medco Energi Tomori Field Senoro. Perhitungan yang dilakukan meliputi setting rele arus lebih dan rele diferensial. *Grading time* antar rele arus lebih dikoordinasikan dengan waktu minimal 0,2s . Di samping itu, sistem juga dilindungi dengan rele diferensial untuk mengatasi gangguan pada trafo. *Slope* pada rele diferensial trafo diatur sebesar 76% dan I_{diff} sebesar $2I_n$. Dengan adanya *setting* koordinasi proteksi tersebut, sistem kelistrikan PT Pertamina JOB Medco Energi Tomori Field Senoro lebih aman dan handal.

Kata kunci : koordinasi proteksi, rele arus lebih, rele diferensial

Halaman ini sengaja dikosongkan

**STUDY OF PROTECTION COORDINATION ON
PT PERTAMINA JOB MEDCO ENERGI TOMORI FIELD
SENORO**

Abdul Wakil
221200067

1st Advisor : Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.
2nd Advisor : Dimas Anton Asfani, S.T., M.T., Ph.D.

ABSTRACT

Safe and reliable electrical system is one of the main goals that must be filled in the field of industry. To obtain the goal, the system needs effective and selective protection for overcoming electrical system fault. Since it was built, PT Pertamina JOB Medco Energi Tomori Field Senoro has been never studied about protection coordination. Therefore, it is necessary to study the protection coordination to ensure the safety and reliability of the electrical system in PT Pertamina JOB Medco Energi Tomori Field Senoro. In this final project the protection coordination on electrical system of PT Pertamina JOB Medco Energi Tomori Field Senoro will be calculated and simulated. The calculations includes setting of overcurrent relay and differential relay. Grading time between overcurrent relays are coordinated with the minimal time 0,2s. In addition, the system is also protected by the differential relay to overcome the transformer fault. Setting slope of transformer differential relay is set at 76%. While Idiff is set at 2In. By the setting of the protection coordination, electrical systems PT Pertamina JOB Medco Energi Tomori Field Senoro more secure and reliable.

Keywords : *protection coordination, overcurrent relay, differential relay*

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul: **“Studi Koordinasi Proteksi pada PT Pertamina JOB Medco Energi Tomori Field Senoro”**

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar sarjana pada jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan dalam penyelesaian Tugas Akhir, terutama kepada :

1. Ayah, Ibu, dan keluarga tercinta yang senantiasa memberikan semangat dan doa yang tidak terbatas.
2. Bapak Dr. Ir. Margo Pujiantara dan Bapak Dimas Anton Asfani, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan, saran, serta masukan yang sangat berarti bagi penulis.
3. Seluruh dosen jurusan Teknik Elektro yang telah banyak memberikan ilmu selama penulis menempuh kuliah.
4. Teman-teman di jurusan Teknik Elektro ITS yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, terutama rekan-rekan Project AJ302 yang selalu memberikan sumbangan pemikiran serta semangat dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Dan semua pihak yang belum penulis sebutkan.

Besar harapan penulis bahwa buku Tugas Akhir ini dapat memberikan informasi dan manfaat bagi pembaca pada umumnya dan mahasiswa Jurusan Teknik Elektro pada khususnya.

Surabaya, Januari 2017

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR KEASLIAN TUGAS AKHIR	
HALAMAN PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Metodologi	2
1.6 Sistematika Penulisan	5
1.7 Relevansi dan Manfaat	5
BAB I KOORDINASI PROTEKSI PADA SISTEM	
KELISTRIKAN	7
2.1 Gangguan Arus Lebih	7
2.1.1 Gangguan Beban Lebih	7
2.1.2 Gangguan Hubung Singkat	7
2.2 Perhitungan Arus Hubung Singkat	8
2.3 Rele Arus Lebih	10
2.3.1 Relay Arus Lebih Waktu Invers	10
2.3.2 Relay Arus Lebih Waktu Instan	11
2.4 <i>Setting</i> Rele Arus Lebih	13
2.4.1 <i>Setting</i> Rele Arus Lebih Waktu Invers	13
2.4.2 <i>Setting</i> Rele Arus Lebih Waktu Instan	14
2.5 Koordinasi Proteksi Berdasarkan Arus dan Waktu	15
2.6 Rele Gangguan Tanah	15
2.7 Rele Differensial Trafo	15

BAB III SISTEM KELISTRIKAN PT PERTAMINA JOB MEDCO ENERGI TOMORI FIELD SENORO	17
3.1 Sistem Kelistrikan PT Pertamina JOB Medco Energi Tomori Field Senoro	17
3.2 Kapasitas Pembangkitan	18
3.3 Sistem Distribusi di PT Pertamina JOB Medco Energi Tomori Field Senoro	18
 BAB IV HASIL SIMULASI DAN ANALISIS KOORDINASI PROTEKSI PADA PT PERTAMINA JOB MEDCO ENERGI TOMORI FIELD SENORO	 21
4.1 Pemodelan Sistem Kelistrikan.....	21
4.2 Pemilihan Tipikal Koordinasi Proteksi.....	21
4.3 Analisis Arus Gangguan Hubung Singkat	22
4.3.1 Hubung Singkat Minimum	22
4.3.2 Hubung Singkat Maksimum	23
4.4 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa	24
4.4.1 Koordinasi Relay Arus Lebih Fasa Tipikal 1	24
4.4.2 Koordinasi Relay Arus Lebih Fasa Tipikal 2	35
4.4.3 Koordinasi Relay Arus Lebih Fasa Tipikal 2	44
4.5 <i>Setting</i> Rele Diferensial Trafo	52
4.6 Koordinasi Rele Arus Gangguan ke Tanah	58
 BAB V PENUTUP	 65
5.1 Kesimpulan	65
5.2 Saran	65
 DAFTAR PUSTAKA	 67
LAMPIRAN	69
BIODATA PENULIS	

TABLE OF CONTENT

AUTHENTICITY STATEMENT OF FINAL PROJECT CERTIFICATION PAGE

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
PREFACE	v
TABLE OF CONTENT	vii
LIST OF FIGURE	ix
LIST OF TABLE	xi

BAB I INTRODUCTION	1
1.1 Background of Problem	1
1.2 Problems.....	2
1.3 Objectives.....	2
1.4 Scope of Problem.....	2
1.5 Metodology	2
1.6 Writing Schematics.....	5
1.7 Relevance and Advantages	5

BAB I PROTECTION COORDINATION OF ELECTRICITY SYSTEM 7

2.1 Overcurrent Fault.....	7
2.1.1 Overload Fault	7
2.1.2 Short circuit Fault.....	7
2.2 Calculation of Short Circuit Fault	8
2.3 Over Current Relay.....	10
2.3.1 Over Current Relay Invers Time	10
2.3.2 Over Current Relay Instan Time.....	11
2.4 Setting of Overcurrent Relay.....	13
2.4.1 Setting Over Current Relay Invers Time	13
2.4.2 Setting Over Current Relay Instan Time.....	14
2.5 Protection Coordiomom	15
2.6 Groundfault Relay	15
2.7 Differential Relay	15

BAB III ELECTRICITY SYSTEM OF PT PERTAMINA JOB MEDCO ENERGI TOMORI FIELD SENORO	17
3.1 Electricity System of PT Pertamina JOB Medco Energi Tomori Field Senoro	17
3.2 Generation Capacity	18
3.3 Distribution System in PT Pertamina JOB Medco Energi Tomori Field Senoro	18
 BAB IV SIMULATION RESULTS AND PROTECTION COORDINATION ANALYSIS AT PT PERTAMINA JOB MEDCO ENERGI TOMORI FIELD SENORO	 21
4.1 System's Modeling.....	21
4.2 Selection of Typical Coordination.....	21
4.3 Short Circuit Analysis	22
4.3.1 Short Circuit Minimum	22
4.3.2 Short Circuit Maximum.....	23
4.4 Coordination of Phase Overcurrent Relay	24
4.4.1 Coordination of Overcurrent Relay Typical 1	24
4.4.2 Coordination of Overcurrent Relay Typical 2	35
4.4.3 Coordination of Overcurrent Relay Typical 3	44
4.5 Transformer Differential Relay (87T)	52
4.6 Coordination of Groundfault Relay	58
 BAB V APPENDIX.....	 65
5.1 Conclusion	65
5.2 Suggestion	65
 BIBLIOGRAPHY	 67
ATTACHMENT	69
BIOGRAPHY	74

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	<i>Flowchart</i> Metodologi Tugas Akhir	4
Gambar 2.1	Hubung singkat tiga fasa	8
Gambar 2.2	Hubung singkat antar fasa	9
Gambar 2.3	Hubung singkat satu fasa ke tanah	10
Gambar 2.4	Karakteristik kurva <i>standard inverte</i> , <i>very inverse</i> <i>dan extremely inverse</i>	11
Gambar 2.5	Karakteristik rele arus lebih waktu instan	12
Gambar 2.6	Karakteristik kurva integrasi rele arus lebih waktu invers dan instan.....	13
Gambar 2.7	Daerah dan prinsip kerja rele diferensial	16
Gambar 3.1	<i>Single line diagram</i> PT Pertamina JOB Medco Energi Tomori Field Senoro	17
Gambar 4.1	Pemodelan masing - masing tipikal	22
Gambar 4.2	Tipikal koordinasi 1	25
Gambar 4.3	Plot kurva rele pengaman <i>eksisting</i> tipikal 1	26
Gambar 4.4	Urutan dan waktu kerja rele <i>eksisting</i> tipikal 1	27
Gambar 4.5	Plot kurva rele pengaman <i>resetting</i> tipikal 1	33
Gambar 4.6	Plot kurva rele pengaman <i>resetting</i> tipikal 1 ketika gangguan pada bus ES-9020	34
Gambar 4.7	Urutan dan waktu kerja rele <i>resetting</i>	35
Gambar 4.8	Tipikal koordinasi 2	36
Gambar 4.9	Plot kurva rele pengaman <i>eksisting</i> tipikal 2	37
Gambar 4.10	Plot kurva rele pengaman <i>resetting</i> tipikal 2	42
Gambar 4.11	Plot kurva rele pengaman <i>resetting</i> tipikal 2 ketika gangguan pada bus ES-9010	43
Gambar 4.12	Tipikal koordinasi 3.....	44
Gambar 4.13	Plot kurva rele pengaman <i>eksisting</i> tipikal 3	45
Gambar 4.14	Urutan dan waktu kerja rele <i>eksisting</i> tipikal 3	46
Gambar 4.15	Plot kurva rele pengaman <i>resetting</i> tipikal 3	50
Gambar 4.16	Plot kurva rele pengaman <i>resetting</i> tipikal 3 ketika gangguan pada bus ES-9050	51
Gambar 4.17	Urutan dan waktu kerja rele <i>resetting</i>	52
Gambar 4.18	Rele diferensial	53
Gambar 4.19	Daerah operasi rele diferensial	58
Gambar 4.20	<i>Single line diagram</i> gangguan fasa tanah	59

Gambar 4.21 Plot kurva rele pengaman arus gangguan tanah
 eksisting 60

Gambar 4.21 Plot kurva rele pengaman arus gangguan ke tanah
 resetting 63

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Koefisien invers <i>time dial</i>	14
Tabel 3.1	Data kapasitas pembangkit PT Pertamina JOB Medco Energi Tomori Field Senoro	18
Tabel 3.2	Data level tegangan bus di PT Pertamina JOB Medco Energi Tomori Field Senoro	18
Tabel 3.3	Data Rangkuman Pembangkitan dan Pembebanan PT Pertamina JOB Medco Energi Tomori Field Senoro	19
Tabel 3.4	Data transformator sistem distribusi PT Pertamina JOB Medco Energi Tomori Field Senoro	19
Tabel 4.1	Data hubung singkat minimum	23
Tabel 4.2	Data hubung singkat maksimum	23
Tabel 4.3	Data Arus gangguan pada trafo ET-9010A.....	53

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT Pertamina JOB Medco Energi Tomori Field Senoro adalah perusahaan yang mengolah dan mengubah gas alam menjadi gas alam cair (*Liquefied Natural Gas*) untuk di pasok ke pasar internasional. PT Pertamina JOB Medco Energi Tomori Field Senoro selalu berusaha untuk menjaga kontinuitas pengolahan gas alam tersebut agar dapat memenuhi permintaan pasar. Dalam upaya tersebut maka keamanan serta kehandalan pada sistem kelistrikan merupakan kebutuhan yang harus terpenuhi. Untuk mendapatkan sistem kelistrikan yang handal dibutuhkan sistem proteksi yang tidak sekedar penggunaan peralatan yang bagus, namun juga penentuan *setting* parameter pengamanan yang tepat. Hal ini ditujukan agar terjadi pengamanan pada beban yang bersifat selektif dan akurat saat terjadi gangguan [1].

Salah satu peralatan yang digunakan pada sistem proteksi adalah rele arus lebih (*over current relay*). Rele arus lebih bekerja untuk merasakan arus yang mengalir dan mengirimkan sinyal ke *circuit breaker* guna melindungi sistem dari kemungkinan gangguan hubung singkat (*short circuit*) atau beban lebih (*overload*) [2]. Parameter pengamanan arus hubung singkat dilakukan dengan waktu yang singkat (*instantaneous time*), sementara perlindungan beban lebih dengan waktu yang relatif lebih lama. Pada *relay* arus lebih, kedua kondisi ini digabungkan kedalam suatu kurva. Kondisi pengamanan tersebut dihubungkan melalui suatu karakteristik dengan parameter yang harus diinputkan ke dalam rele berupa arus *pickup* (I_p), *time dial setting* (TDS), serta *time delay* (t_d). Parameter tersebut harus ditentukan dengan mempertimbangkan arus yang mengalir pada beban, koordinasi antar rele, serta perlindungan terhadap beban esensial.

Selain rele arus lebih, terdapat juga rele diferensial trafo yang digunakan sebagai pengamanan utama ketika terjadi gangguan pada trafo. Rele diferensial ini tidak perlu dikoordinasikan dengan rele arus lebih atau rele yang lainnya. Parameter yang diatur pada *setting* rele ini adalah *slope* dan selisih arus (I_{diff}).

Sejak dibangun sampai saat ini sistem proteksi listrik pada PT Pertamina JOB Medco Energi Tomori Field Senoro belum pernah

dilakukan studi apakah kelayakannya terjamin. Evaluasi terhadap sistem proteksi mutlak diperlukan untuk menjamin keandalan dari sistem kelistrikan secara keseluruhan. Untuk itu, perlu diadakannya studi koordinasi proteksi pada PT Pertamina JOB Medco Energi Tomori Field Senoro terutama studi Short Circuit dan Relay Koordinasi.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah :

1. Sejak dibangun sampai saat ini sistem proteksi listrik pada PT Pertamina JOB Medco Energi Tomori Field Senoro belum pernah dilakukan studi kelayakannya.
2. Evaluasi terhadap sistem proteksi di PT Pertamina JOB Medco Energi Tomori Field Senoro untuk menjamin keandalan dari sistem kelistrikan secara keseluruhan.
3. Studi short circuit dan relay koordinasi.

1.3 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah :

1. Memodelkan, mensimulasikan dan menganalisis sistem kelistrikan pada PT Pertamina JOB Medco Energi Tomori Field Senoro.
2. Melakukan studi koordinasi proteksi rele arus lebih dan *setting* rele diferensial pada PT Pertamina JOB Medco Energi Tomori Field Senoro.
3. Mendapatkan rekomendasi yang diperlakukan untuk keandalan dan stabilitas unit pembangkit.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini adalah mengkoordinasikan dan mengatur :

1. Rele arus lebih fasa (50/51)
2. Rele arus lebih *ground* (50/51 G)
3. Rele diferensial fasa trafo (87T)

1.5 Metodologi

Dilakukan tahapan pengerjaan Tugas Akhir sebagai berikut:

1. Pengumpulan Data

Data yang digunakan merupakan data yang diperoleh dari PT Pertamina JOB Medco Energi Tomori Field Senoro.

2. Pemodelan Sistem

Pemodelan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan *software*. Dibat permodelan sistem kelistrikan PT Pertamina JOB Medco Energi Tomori Field Senoro dan memasukkan data rating peralatan yang ada.

3. Simulasi dan Analisis *Short Circuit*

Melakukan simulasi *short circuit* pada bus yang akan di analisa sehingga mendapatkan besar arus gangguan.

4. Perhitungan *Setting* rele

Melakukan perhitungan untuk mendapatkan *setting* pada rele dengan mempertimbangkan parameter – parameter yang ada.

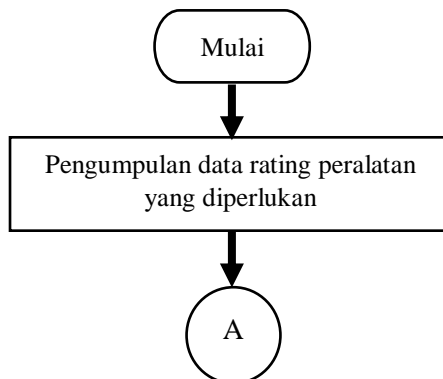
5. Plot TCC

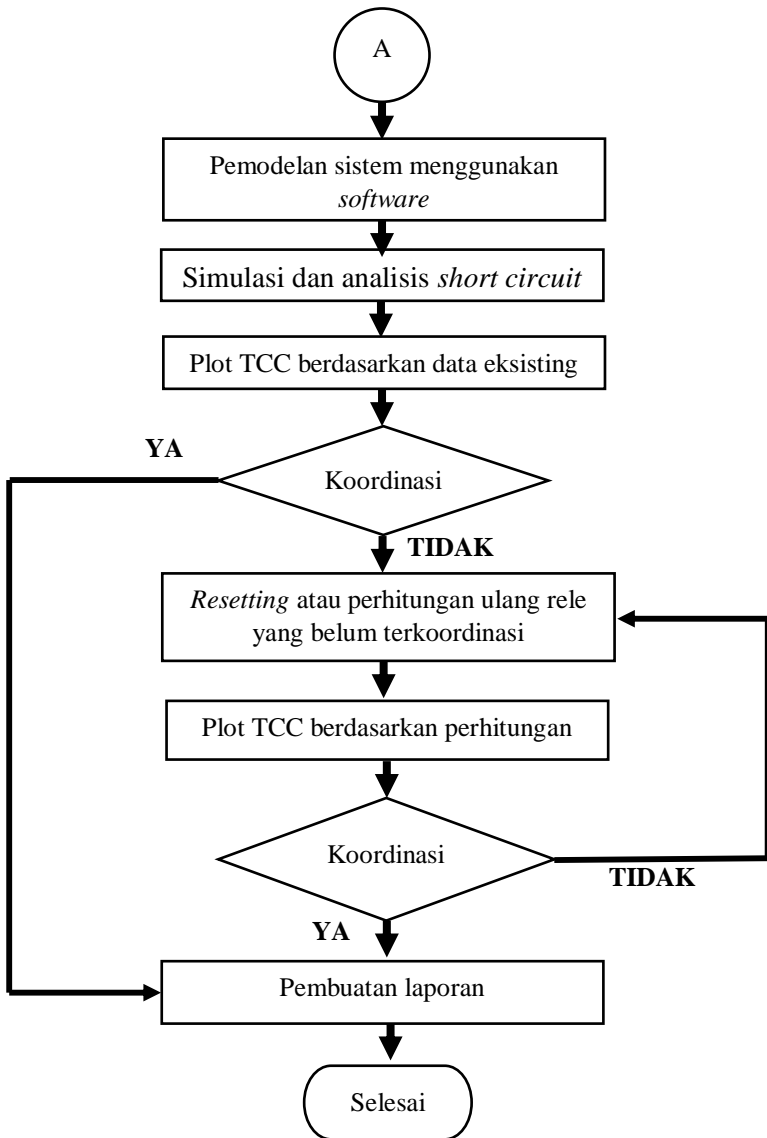
Plot TCC dilakukan setelah menentukan *setiing* pada setiap rele agar dapat dilihat koordinasi rele yang benar. Apabila terjadi kesalahan, maka perlu dilakukan *resetting*.

6. Penarikan Kesimpulan

Setelah melakukan analisis hasil pengujian, maka ditarik suatu kesimpulan berdasarkan kondisi-kondisi yang ada. Kesimpulan ini juga diakhiri dengan saran atau rekomendasi terhadap penelitian selanjutnya.

Secara umum, proses penelitian dapat dijelaskan melalui *flowchart* berikut ini:





Gambar 1.1 *Flowchart* Metodologi Tugas Akhir

1.6 Sistematika Penulisan

Pada tugas akhir ini terdiri atas 5 bab dengan sistematika penulisan sebagai berikut :

Bab 1 : PENDAHULUAN

Bab ini meliputi latar belakang permasalahan, tujuan, batasan masalah, penjabaran mengenai metodologi pengerjaan, sistematika penulisan dan manfaat dari tugas akhir.

Bab 2 : KOORDINASI PROTEKSI PADA SISTEM KELISTRIKAN

Bab ini menjelaskan mengenai teori – teori yang berkaitan dalam penggunaan tugas akhir ini.

Bab 3 : SISTEM KELISTRIKAN PT PERTAMINA JOB MEDCO ENERGI TOMORI FIELD SENORO

Bab ini menjelaskan mengenai sistem kelistrikan pada PT Pertamina JOB Medco Energi Tomori Field Senoro

Bab 4 : HASIL SIMULASI DAN ANALIS KOORDINASI PROTEKSI PADA PT PERTAMINA JOB MEDCO ENERGI TOMORI FIELD SENORO

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai perhitungan dan hasil simulasi yang telah dilakukan. Bab ini juga menyajikan analisis terhadap *setting* yang dilakukan terhadap rele yang telah di koordinasikan.

Bab 5 : PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dan saran dari hasil analisis yang telah dilakukan.

1.7 Relevansi dan Manfaat

Hasil yang diperoleh dari tugas akhir ini diharapkan dapat membawa manfaat sebagai berikut:

1. Untuk PT Pertamina JOB Medco Energi Tomori Field Senoro
Melalui tugas akhir ini, diharapkan penentuan *setting* parameter relay dapat dijadikan sebagai acuan pada koordinasi proteksi rele diferensial dan rele arus lebih pada sistem kelistrikan PT Pertamina JOB Medco Energi Tomori Field Senoro.
2. Untuk bidang ilmu pengetahuan
Dapat menjadi referensi mahasiswa lain yang hendak mengambil masalah serupa pada tugas akhirnya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2

KOORDINASI PROTEKSI PADA SISTEM KELISTRIKAN

Sistem proteksi merupakan bagian yang sangat penting dalam suatu sistem kelistrikan. Selain untuk melindungi peralatan utama bila terjadi gangguan hubung singkat, sistem proteksi juga harus dapat mengisolasi daerah yang mengalami gangguan dan memisahkan daerah yang tidak mengalami gangguan. Sehingga gangguan tidak meluas dan kerugian yang timbul akibat gangguan tersebut dapat diminimalisasi.

2.1 Gangguan Arus Lebih

Gangguan yang umumnya terjadi pada suatu sistem kelistrikan adalah gangguan beban lebih (*overload*) dan gangguan hubung singkat (*short circuit*) [2].

2.1.1 Gangguan Beban Lebih

Gangguan beban lebih merupakan suatu kejadian dimana arus yang mengalir pada suatu sistem besarnya melebihi arus nominal yang diijinkan ($I > I_n$). Gangguan ini terjadi ketika arus yang mengalir melebihi kapasitas dari peralatan listrik dan apabila dibiarkan terus menerus akan dapat merusak peralatan listrik tersebut.

2.1.2 Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat merupakan gangguan pada suatu sistem kelistrikan yang bisa terjadi karena sengaja ataupun tidak sengaja. Gangguan ini dibagi menjadi dua kelompok yaitu yang pertama hubung singkat simetri dan hubung singkat tak simetri (asimetri). Gangguan hubung singkat yang termasuk dalam kelompok gangguan simetri adalah hubung singkat tiga fasa. Sedangkan yang termasuk dalam kelompok hubung singkat tak simetri yaitu hubung singkat satu fasa ke tanah, hubung singkat antar fasa dan hubung singkat dua fasa ke tanah.

Gangguan hubung singkat yang sering terjadi pada suatu sistem kelistrikan adalah gangguan hubung singkat tak simetri. Gangguan hubung singkat ini menyebabkan kenaikan arus yang mengalir pada fasa

yang mengalami gangguan sehingga dapat mengakibatkan kerusakan pada peralatan listrik.

2.2 Perhitungan Arus Hubung Singkat

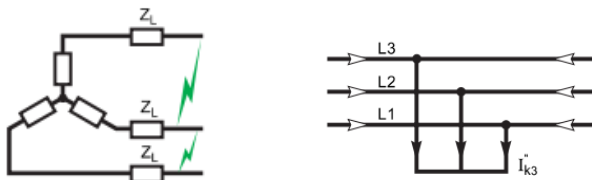
Besar arus hubung singkat yang mengalir saat terjadi gangguan hubung singkat dapat dihitung dengan menggunakan rumus berdasarkan kategori terjadinya gangguan sebagai berikut [3] :

- **Hubung Singkat Tiga Fasa**

Hubung singkat yang terjadi ketika ketiga fasa terhubung menjadi satu titik. Besar arus hubung singkat tiga fasa dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$I_{sc} \ 3\phi = \frac{V_{LN}}{X_1} \quad (2.1)$$

Dimana V_{LN} adalah tegangan *line to netral* dan X_1 adalah reaktansi urutan positif.



Keterangan :

→ : Arah arus hubung singkat

↔ : Arah arus kontribusi hubung singkat

Gambar 2.1 Hubung singkat tiga fasa

- **Hubung Singkat Antar Fasa**

Hubung singkat yang terjadi ketika antar dua fasa terhubung menjadi satu titik. Besar arus hubung singkat antar fasa dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$I_{sc} \ 2\phi = \frac{V_{LL}}{X_1 + X_2} \quad (2.2)$$

Dimana V_{LL} adalah tegangan *line to line* dan X_2 adalah reaktansi urutan negatif. Jika X_1 sama dengan X_2 maka :

$$I_{sc} 2\phi = \frac{V_{LL}}{2X_1} \quad (2.3)$$

karena :

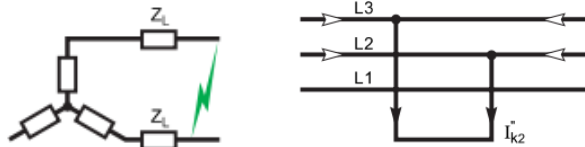
$$V_{LL} = \sqrt{3} V_{LN} \quad (2.4)$$

Sehingga :

$$I_{sc} 2\phi = \frac{\sqrt{3} V_{LN}}{2X_1} \quad (2.5)$$

apabila mengacu pada persamaan (2.1), maka :

$$I_{sc} 2\phi = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{sc} 3\phi \quad (2.6)$$



Keterangan :

← : Arah arus hubung singkat

↔ : Arah arus kontribusi hubung singkat

Gambar 2.2 Hubung singkat antar fasa

- **Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah**

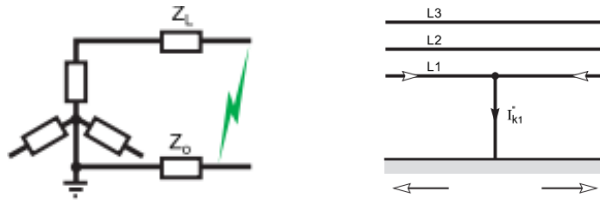
Hubung singkat yang terjadi ketika salah satu fasa terhubung dengan tanah atau disebut dengan *ground fault*. Besar arus hubung singkat satu fasa ke tanah dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$I_{sc} 1\phi = \frac{3 \times V_{LN}}{X_1 + X_2 + X_0 + Z_G} \quad (2.7)$$

Dimana Z_G adalah impedansi ke tanah. Apabila Z_G minimum atau mendekati nol, dan X_1 sama dengan X_2 dan X_0 , maka :

$$I_{sc} 1\phi = \frac{V_{LN}}{X_1} \quad (2.8)$$

$$= I_{sc} 3\phi \quad (2.9)$$



Keterangan :

→ : Arah arus hubung singkat

↔ : Arah arus kontribusi hubung singkat

Gambar 2.3 Hubung singkat satu fasa ke tanah

2.3 Rele Arus Lebih

Rele arus lebih merupakan rele yang bekerja ketika arus yang mengalir melebihi batas yang diijinkan. Secara sederhana logika prinsip kerja dari rele arus lebih adalah sebagai berikut [4] :

Jika $I_f > I_p$

rele bekerja (*trip*)

Jika $I_f < I_p$

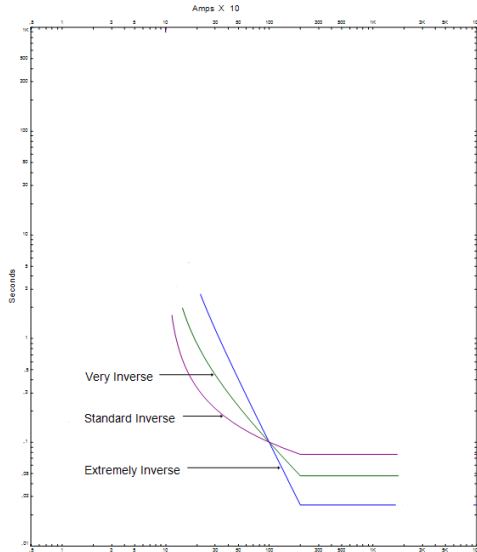
rele tidak bekerja (blok)

Dimana I_f adalah arus gangguan yang di mengalir pada trafo arus (CT) dan I_p adalah arus *pickup*. Rele arus lebih ini berupa rele arus lebih waktu *invers* dan rele arus lebih waktu instan.

2.3.1 Rele Arus Lebih Waktu Invers

Rele arus lebih waktu invers memiliki waktu operasi yang berbanding terbalik dengan besarnya arus gangguan [5]. Artinya, semakin besar arus gangguan yang terjadi maka semakin cepat rele beroperasi, dan juga sebaliknya semakin kecil arus gangguan yang terjadi maka semakin lama rele beroperasi. Prinsip kerja ini juga dapat dilihat pada kurva TCC (*Time-Current Characteristic*). TCC adalah kurva dalam skala *time dial*, dimana semakin besar *time dial* maka semakin lama rele beroperasi.

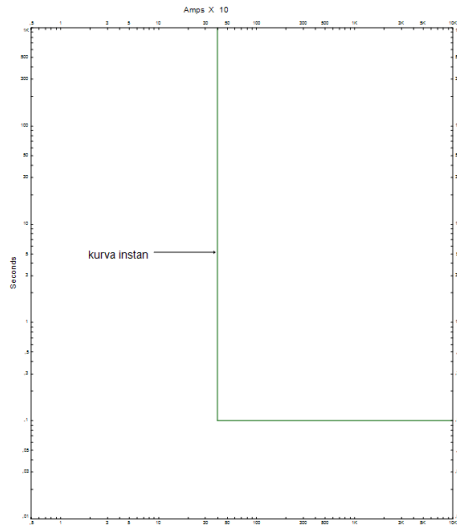
Beberapa jenis perlindungan waktu invers yang di bedakan oleh gradien kurvanya yaitu *standard invers*, *very inverse* dan *extremely inverse* [1] seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Karakteristik kurva *standard ineres*, *very inverse* dan *extremely inverse*

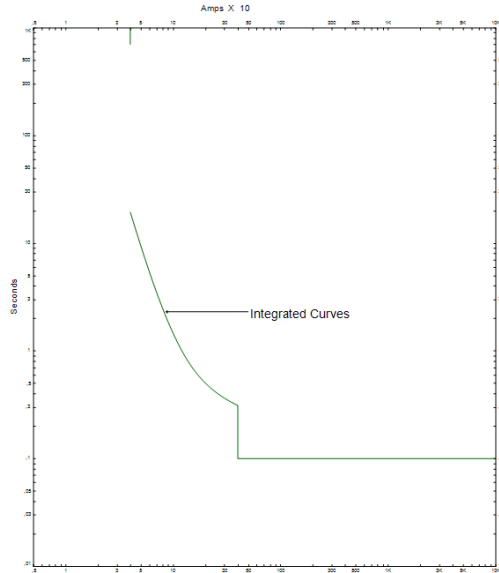
2.3.2 Rele Arus Lebih Waktu Instan

Rele arus lebih waktu instan bekerja tanpa adanya penundaan waktu, atau pada umumnya kurang dari 0.08 detik. Ketika arus gangguan hubung singkat yang ditentukan terjadi, rele akan bekerja berdasarkan arus tersebut dan membuka pemutus dalam waktu yang cepat yaitu 0.08 detik. Karakteristik rele arus lebih waktu *instan* dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Karakteristik rele arus lebih waktu instan

Saat ini penggunaan rele memiliki kurva *invers* dan *instan*, sehingga kurva karakteristiknya merupakan gabungan dari kurva *instan* dan *invers*. Karakteristik kurva integrasi dari rele arus waktu invers dan instan dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Karakteristik kurva integrasi rele arus lebih waktu invers dan instan

2.4 *Setting* Rele Arus Lebih

Setting rele arus lebih dibedakan menjadi dua, yaitu *setting* rele arus waktu *invers* dan *setting* rele arus waktu instan.

2.4.1 *Setting* Rele Arus Waktu Invers

Setting rele arus waktu invers memiliki dua parameter yang harus diatur, yaitu arus *pickup* dan *time dial*. Arus *pickup* merupakan nilai arus minimum yang diatur agar rele pengaman bekerja. Besarnya arus *pickup* ini ditentukan dengan pemilihan *tap*. Adapun besarnya *tap* yang digunakan berdasarkan persamaan berikut :

$$Tap = \frac{I_{set}}{CT_{primary}} \quad (2.10)$$

Dimana I_{set} adalah arus *pickup* dalam ampere. Sedangkan batas penentuan arus *pickup* untuk perlindungan beban lebih pada rele menurut British Standard BS 142 adalah :

$$1,05 \text{ FLA} < I_{set} < 1,4 \text{ FLA} \quad (2.11)$$

Dimana FLA (*full load ampere*) adalah arus beban penuh peralatan.

Selanjutnya adalah *setting* pada *time dial*, dimana *setting* ini menentukan waktu operasi. Untuk menentukan *time dial* dari masing – masing kurva karakteristik invers dari rele arus lebih dapat digunakan persamaan berikut [7]:

$$td = \frac{k \times T}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right]} \quad (2.12)$$

Dimana :

td = waktu operasi (detik)

T = time dial

I = nilai arus (Ampere)

I_{set} = arus *pickup* (Ampere)

k = koefisien invers 1 (lihat Tabel 2.1)

α = koefisien invers 2 (lihat Tabel 2.1)

β = koefisien invers 3 (lihat Tabel 2.1)

Tabel 2.1 Koefisien invers *time dial*

Tipe Kurva	Koefisien		
	k	α	β
<i>Standard Inverse</i>	0,14	0,02	2,970
<i>Very Inverse</i>	13,50	1,00	1,500
<i>Extremely Inverse</i>	80,00	2,00	0,808

2.4.1 *Setting Rele Arus Lebih Instan*

Rele arus lebih instan bekerja ketika ada arus melebihi dari arus *pickup* secara seketika sesuai dengan waktu tundanya (*time delay*). Parameter yang diatur pada rele arus lebih waktu instan ini ada dua, yaitu *setting pickup* dan *time delay*. Penentuan *setting pickup* dipengaruhi oleh besar *I_{sc min}* yang dituliskan pada persamaan berikut ini :

$$I_{set} \leq 0.8 I_{sc \min} \quad (2.14)$$

Dimana *I_{sc min}* adalah arus gangguan dua fasa pada 30 *cycle* yang melewati rele.

Namun pada kondisi khusus dimana pada suatu pengamanan *feeder* dibapisahkan oleh suatu trafo, maka *setting* untuk rele waktu instan adalah sebagai berikut :

$$I_{sc \text{ max sekunder}} \leq I_{set} \leq 0.8 I_{sc \text{ min primer}} \quad (2.15)$$

Dimana $I_{sc \text{ max sekunder}}$ adalah arus gangguan tiga fasa pada sisi sekunder trafo dan $I_{sc \text{ min primer}}$ adalah arus gangguan dua fasa pada sisi primer trafo.

2.5 Koordinasi Proteksi Berdasarkan Arus dan Waktu

Rele pengamanan pada suatu sistem kelistrikan harus terkoordinasi dengan baik. Artinya, saat terjadi gangguan pada sistem kelistrikan rele utama dan rele *backup* tidak boleh bekerja secara bersamaan. Oleh karena itu, harus ada perbedaan waktu operasi antara rele utama dan rele *backup*. Perbedaan waktu operasi antar rele ini sering disebut dengan istilah *grading time* (Δt). Perbedaan waktu kerja antara rele utama dan rele *backup* adalah 0,2 – 0,3 detik. Dengan spesifikasi berikut menurut standard IEEE 242 :

Waktu buka CB : 0.04 – 0.1s (2-5 cycle)

Overtravel dari rele: 0.1s

Faktor keamanan : 0.12-0.22s

Untuk rele berbasis *microprocessor* *Overtravel time* dari rele diabaikan. Sehingga total waktu yang diperlukan adalah 0.2-0.4s.

2.6 Rele Gangguan Tanah

Rele gangguan tanah adalah rele yang bekerja akibat adanya gangguan fasa ke tanah yang diengkapi dengan *zero sequence current filter*. Rele gangguan tanah dapat digunakan pada sistem yang arus gangguannya dibatasi menggunakan sistem pentanahan. Sedangkan untuk *setting* rele gangguan tanah adalah [6]:

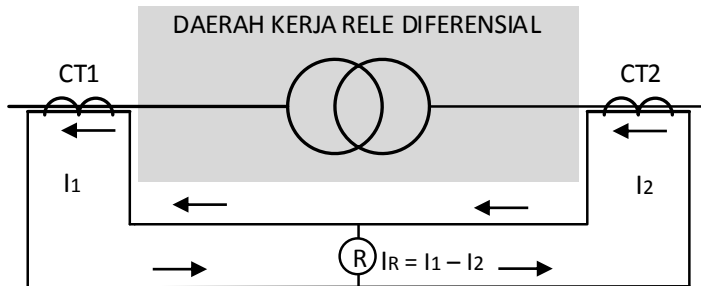
$$5-10\% \times I_{sc \text{ L-G}} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{sc \text{ L-G}} \quad (2.16)$$

Dimana $I_{sc \text{ L-G}}$ merupakan arus hubung singkat fasa ke tanah.

2.7 Rele Diferensial Trafo (87T)

Rele diferensial pada trafo bekerja berdasarkan perbedaan arus yang terbaca oleh CT pada sisi primer trafo (CT1) dan CT pada sisi sekunder trafo (CT2). Fungsi rele ini adalah sebagai pengamanan utama trafo ketika terjadi gangguan dan bekerja seketika tanpa koordinasi dengan rele yang lain. Rele ini harus bekerja saat terjadi gangguan pada daerah pengamanan dan tidak boleh bekerja ketika terjadi gangguan

diluar daerah pengamanan. Daerah pengamanan rele ini adalah antara CT1 dan CT2. Daerah kerja dari rele diferensial ini dapat dilihat pada gambar berikut ini [7]:



Gambar 2.7 Daerah dan prinsip kerja rele diferensial

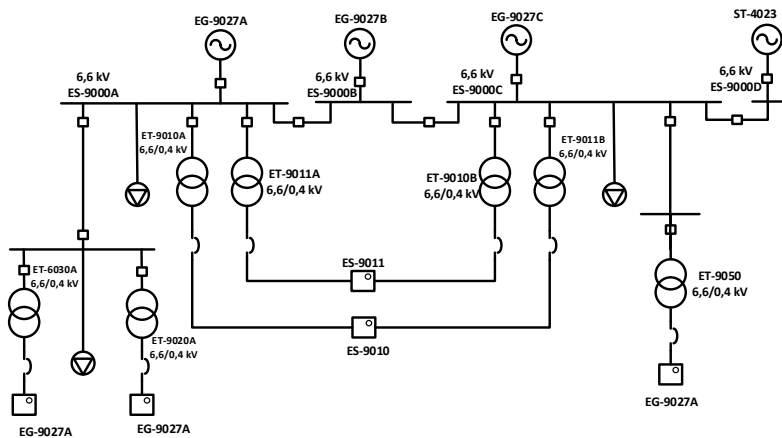
Pada gambar diatas, I_1 adalah arus yang terbaca oleh sekunder CT₁ pada sisi primer trafo dan I_2 adalah arus yang terbaca oleh sekunder CT₂ pada sisi sekunder trafo. Sedangkan I_R adalah selisih arus yang terbaca oleh CT₁ dan CT₂. Arus I_R ini yang akan menjadi *input*-an pada rele diferensial. Waktu kerja rele diferensial sangat cepat yaitu pada 1/2 – 4 *cycle*. *Setting* pada rele diferensial harus mempertimbangkan besar arus gangguan yang ada di sekitar daerah pengamanan. Besar arus gangguan tersebut adalah arus gangguan maksimum dan arus gangguan minimum (*line-to-line*).

BAB 3

SISTEM KELISTRIKAN PT PERTAMINA JOB MEDCO ENERGI TOMORI FIELD SENORO

3.1 Sistem Kelistrikan PT Pertamina JOB Medco Energi Tomori Field Senoro

Untuk memenuhi suplai daya ke beban – bebannya, PT Pertamina JOB Medco Energi Tomori Field Senoro menggunakan empat generator dengan masing – masing kapasitasnya adalah 3 x 3,8 MW dan 1 x 5,33 MW. Sistem yang digunakan adalah sistem radial dengan dua level tegangan, yaitu 6,6 kV untuk tegangan menengah dan 0,4 kV untuk tegangan rendah. Secara umum sistem kelistrikan pada PT Pertamina JOB Medco Energi Tomori Field Senoro dapat dilihat pada gambar 3.1 dibawah ini.



Gambar 3.1 *Single line diagram* PT Pertamina JOB Medco Energi Tomori Field Senoro

3.2 Kapasitas Pembangkitan

PT Pertamina JOB Medco Energi Tomori Field Senoro memiliki empat generator sebagai pembangkit utama untuk memenuhi suplai daya ke beban – bebannya. Data pembangkitan dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Data kapasitas pembangkit PT Pertamina JOB Medco Energi Tomori Field Senoro

No.	ID	MW	MVA	kV	PF
1	EG-9027A	3,8	4,75	6,6	80
2	EG-9027B	3,8	4,75	6,6	80
3	EG-9027C	3,8	4,75	6,6	80
4	ST-4023	5,33	6,662	6,6	80

3.3 Sistem Distribusi di PT Pertamina JOB Medco Energi Tomori Field Senoro

Sistem distribusi di PT Pertamina JOB Medco Energi Tomori Field Senoro menggunakan sistem distribusi radial dengan lima utama sebesar 6,6 kV. Selain itu, PT Pertamina JOB Medco Energi Tomori Field Senoro juga memiliki bus dengan level tegangan 0,4 kV yang terhubung langsung ke beban motor. Data level tegangan bus pada PT Pertamina JOB Medco Energi Tomori Field Senoro dapat dilihat pada tabel 3.2 dibawah ini.

Tabel 3.2 Data level tegangan bus di PT Pertamina JOB Medco Energi Tomori Field Senoro

No.	ID	Tegangan (kV)
1	ES-9000A	6,6
2	ES-9000B	6,6
3	ES-9000C	6,6
4	ES-9000D	6,6
5	ES-9001	6,6
6	ES-6030	0,4
7	ES-9020	0,4
8	ES-9011B	0,4

No.	ID	Tegangan (kV)
9	ES-9011A	0,4
10	ES-9010A	0,4
11	ES-9010A	0,4
12	ES-9050	0,4

Pada kondisi normal, PT Pertamina JOB Medco Energi Tomori Field Senoro memiliki total pembangkitan, pembebanan, dan rugi – rugi yang dirangkum sebagai berikut:

Tabel 3.3 Data Rangkuman Pembangkitan dan Pembebanan PT Pertamina JOB Medco Energi Tomori Field Senoro

	MW	MVAR
Generation	11,942	7,633
Load	11,663	7,465
Loss	0,279	0,168

Beban – beban di PT Pertamina JOB Medco Energi Tomori Field Senoro dibedakan menjadi dua yaitu beban besar yang dihubungkan pada bus level tegangan 6,6 kV dan beban kecil yang dihubungkan pada bus level tegangan 0,4 kV. Untuk mengubah level tegangan dari 6,6 kV ke 0,4 kV, PT Pertamina JOB Medco Energi Tomori Field Senoro memiliki tujuh trafo daya dengan rating dijelaskan pada tabel berikut :

Tabel 3.4 Data transformator sistem distribusi PT Pertamina JOB Medco Energi Tomori Field Senoro

No	ID	Kapasitas (kVA)	Tegangan (kV)	%Z	Hubungan
1	ET-6030	100	6,6/0,4	4	Delta-Wye
2	ET-9020	400	6,6/0,4	4	Delta-Wye
3	ET-9011A	3000	6,6/0,4	7	Delta-Wye
4	ET-9011B	3000	6,6/0,4	7	Delta-Wye
5	ET-9010A	3500	6,6/0,4	7	Delta-Wye
6	ET-9010B	3500	6,6/0,4	7	Delta-Wye
7	ET-9050	1000	6,6/0,4	5	Delta-Wye

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

HASIL SIMULASI DAN ANALISIS KOORDINASI PROTEKSI PADA PT PERTAMINA JOB MEDCO ENERGI TOMORI FIELD SENORO

4.1 Pemodelan Sistem Kelistrikan PT Pertamina JOB Medco Energi Tomori Field Senoro

Dalam memodelkan sistem kelistrikan PT Pertamina JOB Medco Energi Tomori Field Senoro dilakukan dengan cara menggambarkan *single line diagram* menggunakan *software*. Pemodelan simulasi sistem kelistrikan ini memerlukan data – data pada tiap peralatan seerti yang di jelaskan pada bab sebelumnya.

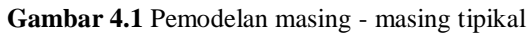
Setelah dilakukan pemodelan pada *software* selanjutnya dilakukan simulasi aliran daya untuk memastikan apakah sistem dalam keadaan stabil dan berjalan dengan baik. Dengan analisa aliran daya ini bisa diketahui tegangan pada bus, pembebanan pada tiap trafo dan juga rugi – rugi daya listrik. Selanjutnya dilakukan simulasi hubung singkat untuk mengetahui besar arus hubung singkat ketika terjadi gangguan sebagai pertimbangan untuk melakukan penyetelan proteksi. Sehingga *setting* koordinasi proteksi yang dilakukan tepat dan handal.

4.2 Pemilihan Tipikal Koordinasi Proteksi PT Pertamina JOB Medco Energi Tomori Field Senoro

Pemilihan tipikal dalam koordinasi proteksi dilakukan dengan tujuan mempermudah melakukan *setting* proteksi. Pemilihan tipikal harus mewakili sistem secara keseluruhan. Untuk koordinasi proteksi PT Pertamina JOB Medco Energi Tomori Field Senoro dipilih enam tipikal. Tipikal ini terdiri dari :

- 1) Koordinasi rele pengaman arus lebih fasa dari sekunder trafo ET-9020 hingga generator EG-9027. Rele yang dikoordinasikan adalah rele R- rele ET-9020-S, rele R-ET9020, rele R-ES9001 dan rele R-EG9027A
- 2) Koordinasi rele pengaman arus lebih dari sekunder trafo ET-9010 hingga generator EG-9027. Rele yang dikoordinasikan adalah rele R-ET9010A-S, rele R-ET9010A dan rele R-EG9027A.

- Untuk membantu pemahaman, tipikal – tipikal tersebut dapat dilihat pada gambar 4.1 dibawah ini :



Analisis arus gangguan hubung singkat dilakukan untuk mendapatkan nilai besar arus saat terjadi gangguan sebagai pertimbangan ketika melakukan *setting* rele pada proteksi. Analisis ini dilakukan di tiap bus pada tipikal yang telah disebutkan sebelumnya. Terdapat dua parameter arus hubung singkat yang digunakan yaitu arus hubung singkat maksimum dan hubung singkat minimum. Arus hubung singkat maksimum terjadi ketika gangguan tiga fasa pada saat $\frac{1}{2}$ cycle. Sedangkan arus hubung singkat minimum terjadi ketika gangguan dua fasa pada saat 30 cycle.

Arus hubung singkat minimum terjadi ketika gangguan dua fasa pada saat 30 cycle. Nilai arus hubung singkat ini digunakan sebagai

batasan maksimum pada *setting* rele arus lebih waktu instan. Sehingga jika terjadi gangguan minimum, maka rele bekerja pada waktu instan sesuai dengan *setting* waktu delainya. Begitupun juga ketika terjadi gangguan maksimum, rele akan bekerja pada waktu instan sesuai dengan *setting* waktu delainya. Analisis hubung singkat ini dilakukan pada bus tertentu yang terlihat pada tabel 4.1 dibawah ini :

Tabel 4.1. Data arus hubung singkat minimum

Bus		Arus Hubung Singkat Minimum (kA)
ID	kV	
B-ET9010AP	6,600	12,873
B-ET9011AP	6,600	12,798
B-ET9020P	6,600	2,739
B-ET9020S	0,400	10,725
B-ET9050P	6,600	11,291
Bus894	0,400	56,703
Bus897	0,400	45,619
ES-9000A	6,600	13,129
ES-9000D	6,600	13,129
ES-9001	6,600	2,838

4.3.2 Hubung Singkat Maksimum

Arus hubung singkat maksimum terjadi ketika gangguan tiga fasa pada saat $1/2$ cycle. Nilai arus hubung singkat ini digunakan sebagai pertimbangan pada *setting* rele diferensial. Untuk kasus tertentu, nilai arus hubung singkat ini juga digunakan sebagai batasan minimum pada *setting* rele arus lebih waktu instan. Analisis hubung singkat ini dilakukan pada bus tertentu yang terlihat pada tabel 4.2 dibawah ini :

Tabel 4.2. Data arus hubung singkat maksimum

Bus		Arus Hubung Singkat Maksimum (kA)
ID	kV	
B-ET9010AP	6,600	16,174
B-ET9011AP	6,600	16,061
B-ET9020P	6,600	3,212
B-ET9020S	0,400	12,466

Bus		Arus Hubung Singkat Maksimum (kA)
ID	kV	
B-ET9050P	6,600	13,942
Bus894	0,400	68,042
Bus897	0,400	53,946
ES-9000A	6,600	16,523
ES-9000D	6,600	16,523
ES-9001	6,600	3,330

4.4 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa

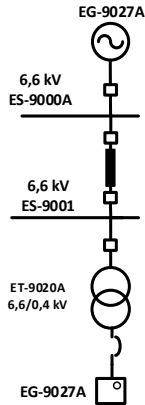
Rele arus lebih digunakan untuk mengamankan gangguan arus lebih yang umumnya berupa gangguan beban lebih (*overload*) dan hubung singkat (*short circuit*). Koordinasi terhadap rele arus lebih sangat dilakukan agar ketika terjadi gangguan arus lebih fasa, antara rele utama dan rele *backup* tidak bekerja secara bersamaan.

Dalam mengatur rele arus lebih fasa ini parameter yang perlu diatur adalah *pickup low set*, *time dial*, *pickup high set* dan *time delay*. Mengacu pada standard IEEE 242, pada tugas akhir ini dipilih *grading time* 0,2 s agar rele dapat terkoordinasi dengan benar dengan tujuan tidak ada rele yang bekerja secara bersamaan ketika terjadi gangguan.

Penentuan parameter – parameter pada rele arus lebih juga harus memperhatikan arus *inrush* trafo dan juga arus *starting* motor. Setelah ditentukan parameter – parameter yang dibutuhkan, selanjutnya dibuat plot kurva rele arus lebih.

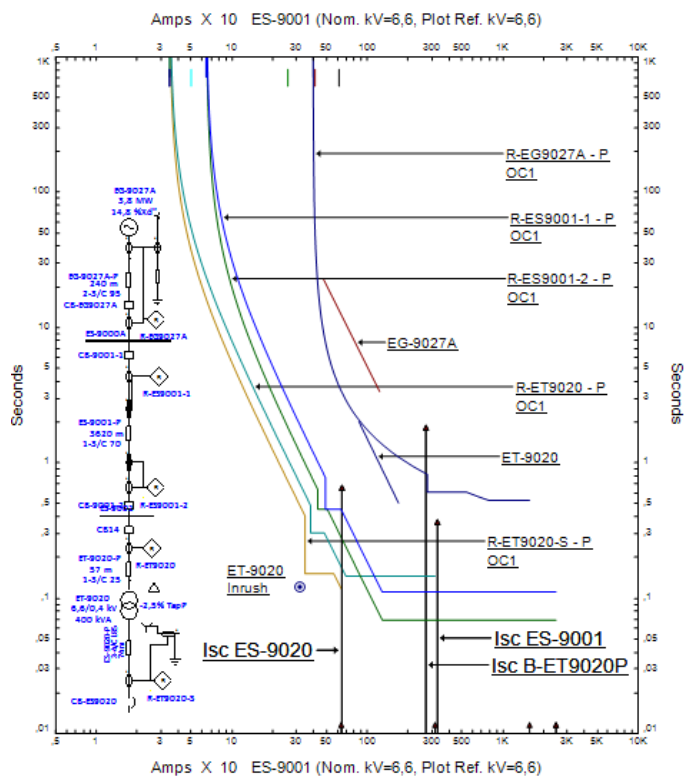
4.4.1 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 1

Koordinasi tipikal 1 merupakan koordinasi rele pengaman arus lebih dari beban ES-9020 LV Swg/MCC sampai dengan generator EG-9027A. Koordinasi tipikal ini dapat dilihat pada gambar 4.1 berikut ini :



Gambar 4.2 Tipikal koordinasi 1

Untuk melakukan evaluasi terhadap *setting eksisting*, maka perlu disimulasikan dengan cara memberikan gangguan dan melihat apakah rele sudah terkoordinasi dengan baik atau tidak. Setelah dilakukan simulasi terhadap gangguan, dilakukan plot kurva TCC (*Time Current Characteristic*) . Hasil simulasi pada rele eksisting terlihat pada gambar 4.3 dibawah ini.



Gambar 4.3 Plot kurva rele pengaman *eksisting* tipikal 1

Selanjutnya untuk mengetahui urutan dan waktu kerja dari masing - masing rele dapat dilihat dengan cara *sequence viewer* yang ditunjukkan pada gambar 4.4.

Sequence-of-Operation Events - Output Report: tipikal 1 a			
3-Phase (Symmetrical) fault on connector between ES-9020 Jetty LV Swg/MCC & CB-ES9020. Adjacent bus: ES-9020			
Data Rev.: Base	Config: Design	Date: 12-12-2016	
Time (ms)	ID	If (kA)	Condition
117	R-ET9020-S	10,681	Phase - OC1 - 51
125	CB-ES9020		Tripped by R-ET9020-S Phase - OC1 - 51
161	R-ET9020	0,664	Phase - OC1 - 51
171	CB14		Tripped by R-ET9020 Phase - OC1 - 51
311	R-ES9001-2	0,614	Phase - OC1 - 51
321	CB-9001-2		Tripped by R-ES9001-2 Phase - OC1 - 51

Gambar 4.4 Urutan dan waktu kerja rele *eksisting* tipikal 1

Dari gambar 4.3 terlihat bahwa antara rele utama dan rele *backup* bekerja dengan *grading time* $161 - 117 = 44 \text{ ms}$ atau $0,044 \text{ s}$ yang di sebabkan oleh *setting time dial*-nya terlalu rendah sehingga mengenai kurva *invers* dari rele. Hal ini memungkinkan kedua rele tersebut bekerja secara bersamaan. Oleh karena itu, perlu dilakukan *resetting* pada tipikal ini.

Resetting pada tipikal ini dapat dilakukan dengan perhitungan secara manual. Perhitungannya dijabarkan sebagai berikut :

Rele R-ET9020-S

Manufacturer : Merlin Gerin
Model : Sepam 80
Curve Type : IEC *Standard Invers*
FLA : 577,4 A
CT Ratio : 800 / 5
Isc min ES-9020 : 10,63 kA
Isc max ES-9020: 12,466 kA

Time Overcurrent Pickup

$1,05 \times \text{FLA} < I_{\text{set}} < 1,4 \times \text{FLA}$
 $1,05 \times 577,4 < I_{\text{set}} < 1,4 \times 577,4$

$$606,27 < I_{\text{set}} < 808,36$$

Dipilih $I_{\text{set}} = 640 \text{ A}$

$$\text{Pickup} = \frac{I_{\text{set}}}{CT_{\text{primary}}} = \frac{640}{800} = 0,8$$

Time dial

Waktu operasi minimum (t_d) = 0,3 s

$$t_d = \frac{0,14 \times \text{TDS}}{2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$\text{TDS} = \frac{t_d \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$\text{TDS} = \frac{0,3 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{12466}{640} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$\text{TDS} = 0,389$$

Maka, dipilih TDS sebesar 0,4

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA Beban} < I_{\text{set}} < 0,8 \times I_{\text{sc min}}$$

$$1,6 \times 577,4 < I_{\text{set}} < 0,8 \times 10630$$

$$923,84 < I_{\text{set}} < 8504$$

Dipilih $I_{\text{set}} = 5776$

$$\text{Pickup} = \frac{I_{\text{set}}}{CT_{\text{primary}}} = \frac{5776}{800} = 7,22$$

Time delay

dipilih *time delay* = 0,3 detik

Rele R-ET9020

Manufacturer : Merlin Gerin

Model : Sepam 40

Curve Type : IEC Standard Invers
 FLA : 34,99 A
 CT Ratio : 50 / 5
 I_{sc} min B-ET9020P: 2,73 kA
 I_{sc} max B-ET9020S: 3,212 kA

Time Overcurrent Pickup

$1,05 \times \text{FLA} < I_{\text{set}} < 1,4 \times \text{FLA}$
 $1,05 \times 34,99 < I_{\text{set}} < 1,4 \times 34,99$
 $36,74 < I_{\text{set}} < 48,99$
 Dipilih $I_{\text{set}} = 40 \text{ A}$

$$\text{Pickup} = \frac{I_{\text{set}}}{\text{CT primary}} = \frac{40}{50} = 0,8$$

Time dial

Waktu operasi minimum (t_d) = 0,1 s
 $0,14 \times \text{TDS}$

$$t_d = \frac{0,14 \times \text{TDS}}{2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$\text{TDS} = \frac{t_d \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$\text{TDS} = \frac{0,1 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{3212}{40} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$\text{TDS} = 0,194$$

Maka, dipilih TDS sebesar 0,65

Instantaneous Pickup

$I_{\text{sc max}} < I_{\text{set}} < 0,8 \times I_{\text{sc min}}$
 $3212 \times \left(\frac{0,4}{6,6} \right) < I_{\text{set}} < 0,8 \times 2730$
 $194,67 < I_{\text{set}} < 2184$

Dipilih $I_{set} = 800$

$$Pickup = \frac{I_{set}}{CT_{primary}} = \frac{800}{50} = 16$$

Time delay

dipilih *time delay* = 0,1 detik

Rele R-ES9001

Manufacturer : Merlin Gerin

Model : Sepam 40

Curve Type : IEC *Standard Invers*

FLA : 68,07 A

CT Ratio : 75 / 5

Isc min ES-9001 : 2,63 kA

Isc max ES-9001 : 3,33 kA

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA < I_{set} < 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 68,07 < I_{set} < 1,4 \times 68,07$$

$$71,47 < I_{set} < 108,91$$

Dipilih $I_{set} = 73,5$ A

$$Pickup = \frac{I_{set}}{CT_{primary}} = \frac{73,5}{75} = 0,98$$

Time dial

Waktu operasi minimum (t_d) = 0,3 s

$$t_d = \frac{0,14 \times TDS}{2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$TDS = \frac{t_d \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TDS = \frac{0,3 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{3330}{73,5} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TDS = 0,504$$

Maka, dipilih TDS sebesar 0,9

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA Beban} < I_{\text{set}} < 0,8 \times \text{Isc min}$$

$$1,6 \times 68,07 < I_{\text{set}} < 0,8 \times 2630$$

$$923,84 < I_{\text{set}} < 2104$$

Dipilih $I_{\text{set}} = 1050$

$$\text{Pickup} = \frac{I_{\text{set}}}{\text{CT}_{\text{primary}}} = \frac{1050}{75} = 14$$

Time delay

dipilih *time delay* = 0,3 detik

Rele R-EG9027A

Manufacturer : Merlin Gerin

Model : Sepam 80

Curve Type : IEC *Standard Invers*

FLA : 415,5 A

CT Ratio : 600 / 5

Isc min ES-9000A : 2,27 kA

Isc max ES-9000A: kA

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA} < I_{\text{set}} < 1,4 \times \text{FLA}$$

$$1,05 \times 415,5 < I_{\text{set}} < 1,4 \times 415,5$$

$$436,28 < I_{\text{set}} < 664,80$$

Dipilih $I_{\text{set}} = 450 \text{ A}$

$$\text{Pickup} = \frac{I_{\text{set}}}{\text{CT}_{\text{primary}}} = \frac{462}{600} = 0,75$$

Time dial

Waktu operasi minimum (t_d) = 0,3 s

$$t_d = \frac{0,14 \times \text{TDS}}{2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

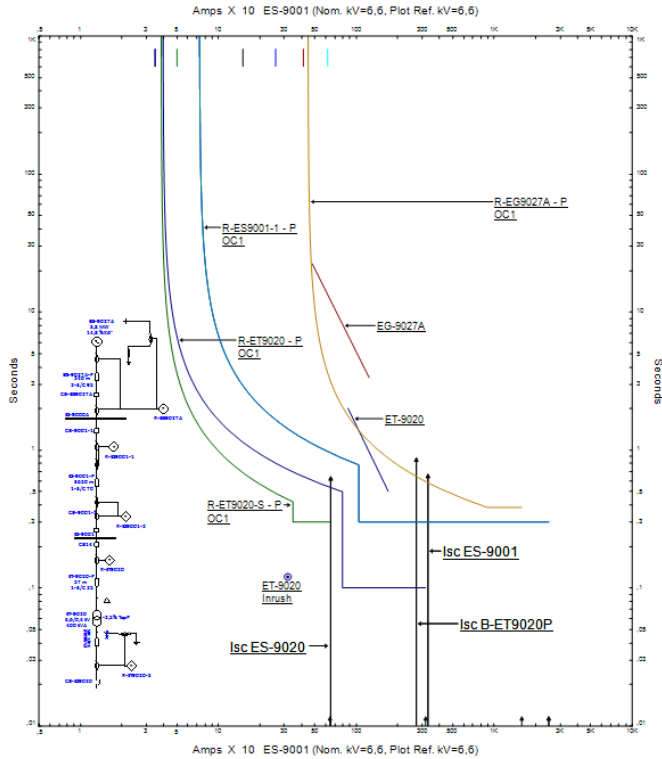
$$TDS = \frac{t_d \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TDS = \frac{0,3 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{16523}{450} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TDS = 0,476$$

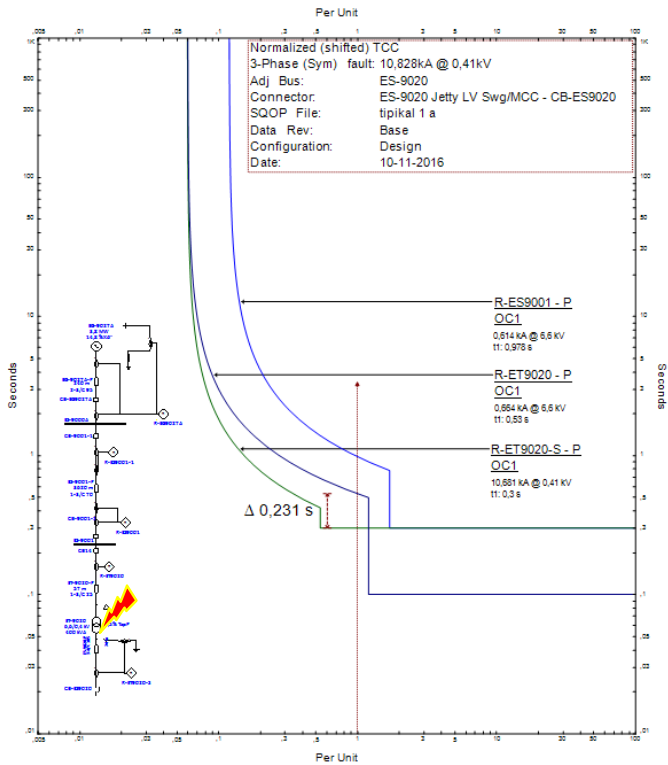
Maka, dipilih TDS sebesar 0,6

Setelah dilakukan perhitungan manual, maka dilakukan pembuatan plot kurva koordinasi proteksi pada tipikal 1. Pada gambar 4.4 ditunjukkan plot kurva koordinasi pengaman pada tipikal 1 setelah dilakukan *resetting*.



Gambar 4.5. Plot kurva rele pengaman *resetting* tipikal 1

Selanjutnya disimulasikan dengan memberi gangguan sebagai perbandingan antara *eksisting* dan *resetting*. Gambar TCC pada kondisi *resetting* ketika terjadi gangguan dapat dilihat pada gambar 4.6.



Gambar 4.6. Plot kurva rele pengaman *resetting* tipikal 1 ketika gangguan pada bus ES-9020

Untuk melihat waktu dan urutan kerja rele dapat dilihat pada *sequence viewer* yang terdapat pada gambar 4.7 dibawah ini.

Sequence-of-Operation Events - Output Report: tipikal 1 a			
3-Phase (Symmetrical) fault on connector between ES-9020 Jetty LV Swg/MCC & CB-ES9020. Adjacent bus: ES-9020			
Data Rev.: Base		Config: Design	Date: 13-12-2016
Time (ms)	ID	If (kA)	Condition
300	R-ET9020-S	10,681	Phase - OC1 - 50
308	CB-ES9020		Tripped by R-ET9020-S Phase - OC1 - 50
530	R-ET9020	0,664	Phase - OC1 - 51
540	CB14		Tripped by R-ET9020 Phase - OC1 - 51
978	R-ES9001	0,614	Phase - OC1 - 51
988	CB-9001-2		Tripped by R-ES9001 Phase - OC1 - 51

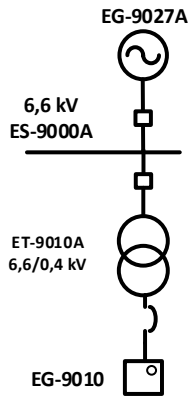
Gambar 4.7. Urutan dan waktu kerja rele *resetting*

Sesuai hasil perhitungan rele *resetting* pada gambar 4.5 dapat disimpulkan bahwa :

- Rele R-ET9020S berfungsi sebagai pelindung trafo terhadap gangguan arus lebih yang terjadi pada bus ES9020. *Time delay* diatur 0,3s dengan tujuan sebagai rele *backup* ketika terjadi gangguan pada beban tegangan rendah dengan cara memberi waktu tunda untuk pengaman pada beban tersebut bekerja terlebih dahulu.
- Rele R-ET9020 berfungsi sebagai pelindung bus ES-9001 ketika terjadi gangguan arus lebih. *Time delay* diatur 0,1s karena besar arus gangguan maksimum sisi sekunder trafo lebih kecil dari pada arus gangguan minimum pada sisi primer trafo.
- Rele R-ET9001 berfungsi sebagai pelindung bus ES-9000 ketika terjadi gangguan arus lebih.
- Rele R-EG9027A berfungsi sebagai pelindung generator EG-9027A ketika terjadi gangguan arus lebih.

4.4.2 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 2

Koordinasi tipikal 2 merupakan koordinasi rele pengaman arus lebih dari beban ES-9010 LV Swg/MCC sampai dengan generator EG-9027A. Koordinasi tipikal ini dapat dilihat pada gambar 4.8 berikut ini :



Gambar 4.8 Tipikal koordinasi 2

Pada tipikal 2 ini untuk melakukan evaluasi terhadap *setting eksisting*, maka perlu dilakukan plot kurva TCC (*Time Current Characteristic*). Hasil plot pada rele eksisting terlihat pada gambar 4.9 dibawah ini.

Curve Type : IEC *Standard Invers*
FLA : 5052 A
CT Ratio : 6000 / 5
Isc min ES-9010 : 51,05 kA
Isc max ES-9010: 68,042kA

Time Overcurrent Pickup

$1,05 \times \text{FLA} < I_{\text{set}} < 1,4 \times \text{FLA}$
 $1,05 \times 5052 < I_{\text{set}} < 1,4 \times 5052$
 $5304,6 < I_{\text{set}} < 7072,8$
 Dipilih $I_{\text{set}} = 5400 \text{ A}$

$$\text{Pickup} = \frac{I_{\text{set}}}{\text{CT primary}} = \frac{5400}{6000} = 0,9$$

Time dial

Waktu operasi minimum (t_d) = 0,3 s

$$t_d = \frac{0,14 \times \text{TDS}}{2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$\text{TDS} = \frac{t_d \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$\text{TDS} = \frac{0,3 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{68042}{5400} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$\text{TDS} = 0,331$$

Maka, dipilih TDS sebesar 0,4

Instantaneous Pickup

$1,6 \times \text{FLA Beban} < I_{\text{set}} < 0,8 \times \text{Isc min}$
 $1,6 \times 577,4 < I_{\text{set}} < 0,8 \times 51,05$
 $8083,2 < I_{\text{set}} < 40840$
 Dipilih $I_{\text{set}} = 45480$

$$Pickup = \frac{I_{set}}{CT_{primary}} = \frac{45480}{6000} = 7,58$$

Time delay

dipilih *time delay* = 0,3 detik

Rele R-ET9020

Manufacturer : Merlin Gerin
Model : Sepam 40
Curve Type : IEC *Standard Invers*
 FLA : 306,2 A
CT Ratio : 500 / 5
 Isc min B-ET9010P : 12,5 kA
 Isc max B-ET9010S : 68,042 kA

Time Overcurrent Pickup

$1,05 \times FLA < I_{set} < 1,4 \times FLA$
 $1,05 \times 306,2 < I_{set} < 1,4 \times 306,2$
 $321,51 < I_{set} < 428,68$
 Dipilih $I_{set} = 335$ A

$$Pickup = \frac{I_{set}}{CT_{primary}} = \frac{335}{500} = 0,67$$

Time dial

Waktu operasi minimum (t_d) = 0,1 s

$$t_d = \frac{0,14 \times TDS}{2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$TDS = \frac{t_d \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$\text{TDS} = \frac{0,1 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{68042}{335} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$\text{TDS} = 0,238$$

Maka, dipilih TDS sebesar 0,55

Instantaneous Pickup

$$\text{Isc max} < \text{I}_{\text{set}} < 0,8 \times \text{Isc min}$$

$$68042 \times \left(\frac{0,4}{6,6} \right) < \text{I}_{\text{set}} < 0,8 \times 12500$$

$$4123,76 < \text{I}_{\text{set}} < 10000$$

Dipilih $\text{I}_{\text{set}} = 5000$

$$\text{Pickup} = \frac{\text{Iset}}{\text{CT primary}} = \frac{5000}{500} = 10$$

Time delay

dipilih *time delay* = 0,1 detik

Rele R-EG9027A

Manufacturer : Merlin Gerin

Model : Sepam 80

Curve Type : IEC *Standard Invers*

FLA : 415,5 A

CT Ratio : 600 / 5

Isc min ES-9000A : 2,27 kA

Isc max ES-9000A : kA

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA} < \text{I}_{\text{set}} < 1,4 \times \text{FLA}$$

$$1,05 \times 415,5 < \text{I}_{\text{set}} < 1,4 \times 415,5$$

$$436,28 < \text{I}_{\text{set}} < 664,80$$

Dipilih $\text{I}_{\text{set}} = 450 \text{ A}$

$$Pickup = \frac{I_{set}}{CT_{primary}} = \frac{462}{600} = 0,75$$

Time dial

Waktu operasi minimum (t_d) = 0,3 s

$$t_d = \frac{0,14 \times TDS}{2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

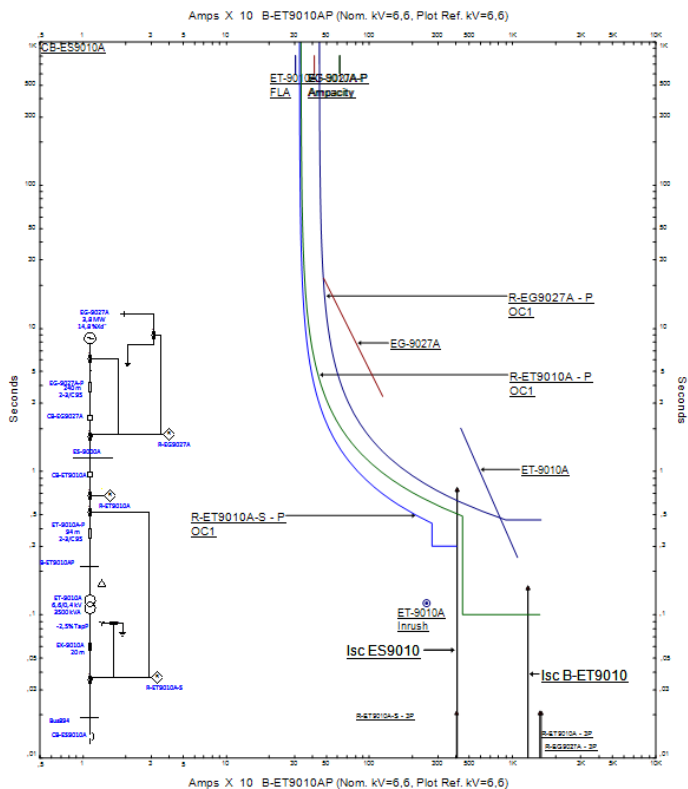
$$TDS = \frac{t_d \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TDS = \frac{0,3 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{16523}{450} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TDS = 0,476$$

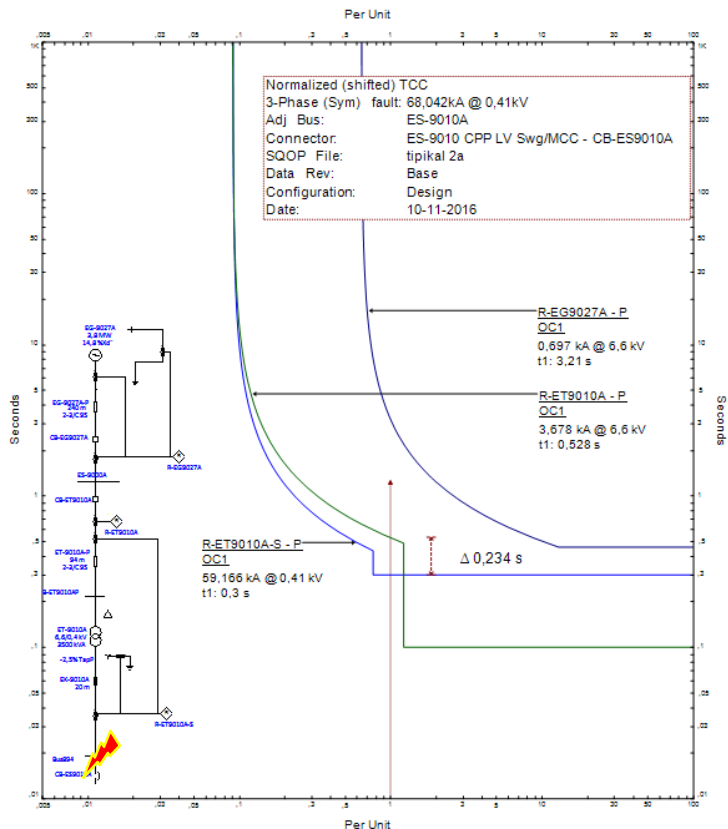
Maka, dipilih TDS sebesar 0,6

Setelah dilakukan perhitungan manual, maka dilakukan pembuatan plot kurva koordinasi proteksi pada tipikal 2. Pada gambar 4.9 ditunjukkan plot kurva koordinasi pengaman pada tipikal 2 setelah dilakukan *resetting*.



Gambar 4.10. Plot kurva rele pengaman *resetting* tipikal 2

Selanjutnya disimulasikan dengan memberi gangguan sebagai perbandingan antara *eksisting* dan *resetting*. Gambar TCC pada kondisi *resetting* ketika terjadi gangguan dapat dilihat pada gambar 4.11.



Gambar 4.11. Plot kurva rele pengaman *resetting* tipikal 2 ketika gangguan pada bus ES-9010

Sesuai hasil perhitungan rele *resetting* pada gambar 4.10 dapat disimpulkan bahwa :

- Rele R-ET9010A-S berfungsi sebagai pelindung trafo terhadap gangguan arus lebih yang terjadi pada bus ES9010A. *Time delay* diatur 0,3s dengan tujuan sebagai rele *backup* ketika terjadi gangguan pada beban tegangan rendah dengan cara memberi waktu tunda untuk pengaman pada beban tersebut bekerja terlebih dahulu.

- #### 4.4.3 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 3

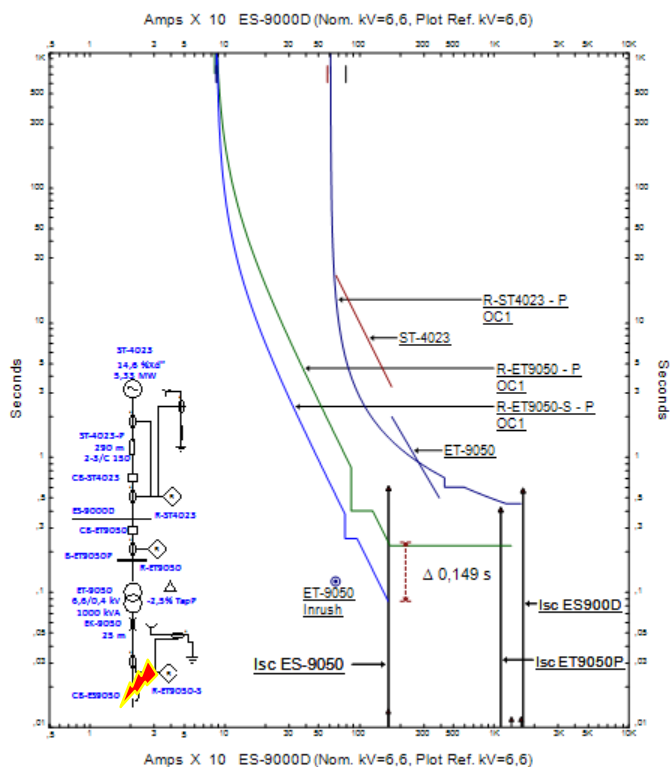
ST-4023

6,6 kV
ES-9000D

ET-9050A
6,6/0,4 kV

EG-9027A

Untuk melakukan evaluasi terhadap *setting eksisting*, maka perlu disimulasikan dengan cara memberikan gangguan dan melihat apakah rele sudah terkoordinasi dengan baik atau tidak. Setelah dilakukan simulasi terhadap gangguan, dilakukan plot kurva TCC (*Time Current Characteristic*). Hasil simulasi pada rele eksisting terlihat pada gambar 4.13 dibawah ini.



Gambar 4.13 Plot kurva rele pengaman *eksisting* tipikal 3

Selanjutnya untuk mengetahui urutan dan waktu kerja dari masing - masing rele dapat dilihat dengan cara *sequence viewer* yang ditunjukkan pada gambar 4.3.

Sequence-of-Operation Events - Output Report: tipikal 4a			
3-Phase (Symmetrical) fault on connector between ES-9050 Camp LV Swg/MCC & CB-ES9050. Adjacent bus: ES-9050			
Data Rev.: Base		Config: Design	Date: 13-12-2016
Time (ms)	ID	If (kA)	Condition
84,5	R-ET9050-S	27,353	Phase - OC1 - 51
94,5	CB-ES9050		Tripped by R-ET9050-S Phase - OC1 - 51
221	R-ET9050	1,7	Phase - OC1 - 51
231	CB-ET9050		Tripped by R-ET9050 Phase - OC1 - 51

Gambar 4.14 Urutan dan waktu kerja rele *eksisting* tipikal 3

Dari gambar 4.3 terlihat bahwa antara rele utama dan rele *backup* bekerja dengan *grading time* $221 - 84,5 = 136,5 \text{ ms}$ atau $0,136 \text{ s}$ yang disebabkan oleh *setting time dial*-nya terlalu rendah sehingga mengenai kurva *invers* dari rele. Hal ini memungkinkan kedua rele tersebut bekerja secara bersamaan. Oleh karena itu, perlu dilakukan *resetting* pada tipikal ini.

Resetting pada tipikal ini dapat dilakukan dengan perhitungan secara manual. Perhitungannya dijabarkan sebagai berikut :

Rele R-ET9050-S

Manufacturer : Merlin Gerin
Model : Sepam 80
Curve Type : IEC Standard Invers
FLA : 1443 A
CT Ratio : 2000 / 5
Isc min : 23,46 kA
Isc max : 27,35 kA

Time Overcurrent Pickup

$1,05 \times \text{FLA} < I_{\text{set}} < 1,4 \times \text{FLA}$
 $1,05 \times 1443 < I_{\text{set}} < 1,4 \times 1443$
 $1515,15 < I_{\text{set}} < 2020,2$

Dipilih $I_{\text{set}} = 1600 \text{ A}$

$$\text{Pickup} = \frac{I_{\text{set}}}{\text{CT}_{\text{primary}}} = \frac{1600}{2000} = 0,8$$

Time dial

Waktu operasi minimum (t_d) = 0,3 s

$$t_d = \frac{0,14 \times \text{TDS}}{2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$\text{TDS} = \frac{t_d \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$\text{TDS} = \frac{0,3 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{27350}{1600} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$\text{TDS} = 0,372$$

Maka, dipilih TDS sebesar 0,5

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA Beban} < I_{\text{set}} < 0,8 \times I_{\text{sc min}}$$

$$1,6 \times 1443 < I_{\text{set}} < 0,8 \times 23460$$

$$2308,8 < I_{\text{set}} < 18768$$

Dipilih $I_{\text{set}} = 13000$

$$\text{Pickup} = \frac{I_{\text{set}}}{\text{CT}_{\text{primary}}} = \frac{13000}{2000} = 6,5$$

Time delay

dipilih *time delay* = 0,3 detik

Rele R-ET9020

Manufacturer : Merlin Gerin

Model : Sepam 40

Curve Type : IEC *Standard Invers*

FLA : 87,48 A
 CT Ratio : 500 / 5
 Isc min B-ET9010P : 11,29 kA
 Isc max B-ET9010S : 27,35 kA

Time Overcurrent Pickup

$1,05 \times \text{FLA} < I_{\text{set}} < 1,4 \times \text{FLA}$
 $1,05 \times 87,48 < I_{\text{set}} < 1,4 \times 87,48$
 $91,85 < I_{\text{set}} < 122,47$
 Dipilih $I_{\text{set}} = 100 \text{ A}$

$$\text{Pickup} = \frac{I_{\text{set}}}{\text{CT primary}} = \frac{100}{500} = 0,2$$

Time dial

Waktu operasi minimum (t_d) = 0,1 s

$$t_d = \frac{0,14 \times \text{TDS}}{2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$\text{TDS} = \frac{t_d \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$\text{TDS} = \frac{0,1 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{13940}{100} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$\text{TDS} = 0,22$$

Maka, dipilih TDS sebesar 0,75

Instantaneous Pickup

$\text{Isc max} < I_{\text{set}} < 0,8 \times \text{Isc min}$
 $27350 \times \left(\frac{0,4}{6,6} \right) < I_{\text{set}} < 0,8 \times 11290$
 $1657,57 < I_{\text{set}} < 9032$
 Dipilih $I_{\text{set}} = 2000$

$$Pickup = \frac{I_{set}}{CT_{primary}} = \frac{2000}{500} = 4$$

Time delay

dipilih *time delay* = 0,1 detik

Rele R-EG9027A

Manufacturer : Merlin Gerin

Model : Sepam 80

Curve Type : IEC *Standard Invers*

FLA : 582,8 A

CT Ratio : 750 / 5

Isc min ES-9000A : 3,71 kA

Isc max ES-9000A : 4280 kA

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA < I_{set} < 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 582,8 < I_{set} < 1,4 \times 582,8$$

$$611,94 < I_{set} < 815,92$$

Dipilih $I_{set} = 645$ A

$$Pickup = \frac{I_{set}}{CT_{primary}} = \frac{645}{750} = 0,86$$

Time dial

Waktu operasi minimum (t_d) = 0,3 s

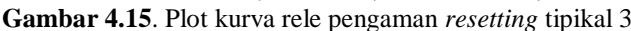
$$t_d = \frac{0,14 \times TDS}{2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$TDS = \frac{t_d \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

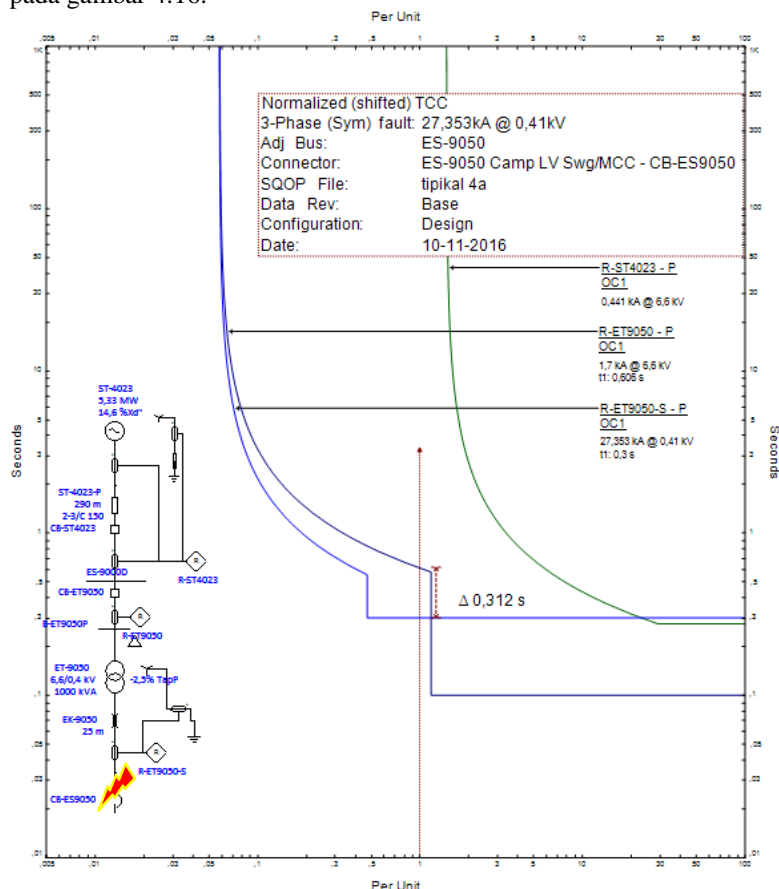
TDS = 0,245

Maka, dipilih TDS sebesar 0,36

Setelah dilakukan perhitungan manual, maka dilakukan pembuatan plot kurva koordinasi proteksi pada tipikal 3. Pada gambar 4.15 ditunjukkan plot kurva koordinasi pengaman pada tipikal 3 setelah dilakukan *resetting*.



Selanjutnya disimulasikan dengan memberi gangguan pada bus ES-9020 sebagai perbandingan antara *eksisting* dan *resetting*. Gambar TCC pada kondisi *resetting* ketika terjadi gangguan dapat dilihat pada gambar 4.15. Sedangkan untuk urutan dan waktu kerja rele dapat dilihat pada gambar 4.16.



Gambar 4.16. Plot kurva rele pengaman *resetting* tipikal 3 ketika gangguan pada bus ES-9050

Sequence-of-Operation Events - Output Report: tipikal 4a			
3-Phase (Symmetrical) fault on bus: Bus903			
Data Rev.: Base		Config: Design	Date: 13-12-2016
Time (ms)	ID	If (kA)	Condition
300	R-ET9050-S	27,353	Phase - OC1 - 50
310	CB-ES9050		Tripped by R-ET9050-S Phase - OC1 - 50
606	R-ET9050	1,7	Phase - OC1 - 51
616	CB-ET9050		Tripped by R-ET9050 Phase - OC1 - 51

Gambar 4.17. Urutan dan waktu kerja rele *resetting*

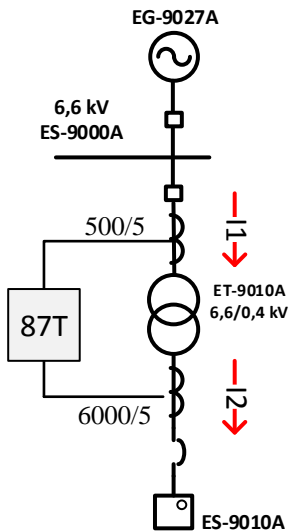
Sesuai hasil perhitungan rele *resetting* pada gambar 4.14 dapat disimpulkan bahwa :

- Rele R-ET9050-S berfungsi sebagai pelindung trafo terhadap gangguan arus lebih yang terjadi pada bus ES9050. *Time delay* diatur 0,3s dengan tujuan sebagai rele *backup* ketika terjadi gangguan pada beban tegangan rendah dengan cara memberi waktu tunda untuk pengaman pada beban tersebut bekerja terlebih dahulu.
- Rele R-ET9050A berfungsi sebagai pelindung bus B-ET9050A-P ketika terjadi gangguan arus lebih. *Time delay* diatur 0,1s karena besar arus gangguan maksimum sisi sekunder trafo lebih kecil dari pada arus gangguan minimum pada sisi primer trafo.
- Rele R-EG9027A berfungsi sebagai pelindung generator EG-9027A ketika terjadi gangguan arus lebih.

4.5 Setting Rele Diferensial Trafo

Setting pada rele diferensial dapat dilakukan dengan cara perhitungan manual. Parameter yang dihitung antara lain arus yang terbaca pada sekunder CT, selisih arus pada sekunder CT, rata – rata arus yang terbaca pada sekunder CT dan yang terakhir adalah slope. Logika dasar rele diferensial trafo adalah arus yang masuk pada trafo sama

dengan arus yang keluar pada trafo. Pemodelan rele diferensial dapat dilihat pada gambar 4.17 dibawah ini.



Gambar 4.18. Rele diferensial

Dalam perhitungan rele diferensial perlu dilakukan analisa besar arus hubung singkat pada bus yang berada diluar trafo. Data arus hubung singkat yang diambil adalah arus hubung singkat minimum dua fasa dan arus hubung singkat maksimum tiga fasa. Hasil simulasi arus gangguan dapat dilihat pada tabel 4.3 dibawah ini.

Tabel 4.3 Data Arus gangguan pada trafo ET-9010A

Bus gangguan	Isc 2 Fasa (kA)		Isc 3 Fasa (kA)		Keterangan
	Ict 1	Ict 2	Ict 1	Ict 2	
ES-9010	1,9	51,05	3,68	59,17	Gangguan Diluar
ES-9000A	0,48	5,14	0,649	10,44	
B-ET9010AP	12,42	5,14	15,6	10,44	Gangguan Didalam
B-ET9010AS	1,9	6,92	3,68	10,74	

Dari tabel 4.3 dapat dilihat besar arus gangguan minimum dua fasa dan arus gangguan tiga fasa. Dengan memperhatikan *error* CT sebesar

5%, maka berdasarkan arus gangguan maksimum tiga fasa dapat dihitung dengan perhitungan sebagai berikut :

Spesifikasi rele:

<i>Manufacturer</i>	: ALSTOM
<i>Model</i>	: MiCOM P543
<i>I_{diff range}</i>	: 1In – 30In
<i>Slope range</i>	: 30% - 150%
Rasio CT1	: 500 / 5
Rasio CT2	: 6000 / 5

$$\begin{aligned} \text{I pada sekunder CT1 (Ip)} &= \left(\frac{3680 \times 1,05}{500} \right) \times 5 \\ &= 38,64 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{I pada sekunder CT2 (Is)} &= \left(\frac{59170 \times 0,95}{6000} \right) \times 5 \\ &= 46,84 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Restraint} &= \frac{Ip + Is}{2} \\ &= \frac{38,64 \text{ A} + 46,84 \text{ A}}{2} \\ &= 42,7 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Selisih (I_{diff})} &= |Ip - Is| \\ &= |38,64 \text{ A} - 46,84 \text{ A}| \\ &= \mathbf{8,2 \text{ A}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Slope (\%)} &= \frac{I \text{ Selisih}}{I \text{ Restrain}} \times 100\% \\ &= \frac{8,2 \text{ A}}{42,7 \text{ A}} \times 100\% \\ &= 19,19 \text{ \%} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas didapatkan *slope* adalah sebesar 19,19 %. Sedangkan perbedaan arusnya (*I_{diff}*) adalah 8,2 A. Selanjutnya dilakukan analisa perhitungan terhadap gangguan minimum dua fasa dengan

memperhatikan *error* CT. Perhitungan terhadap arus gangguan dua fasa adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} I \text{ pada sekunder CT1 } (I_p) &= \left(\frac{1900}{500} \right) \times 5 \times 1,05 \\ &= 19,95 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I \text{ pada sekunder CT2 } (I_s) &= \left(\frac{51050}{6000} \right) \times 5 \times 0,95 \\ &= 40,41 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Restraint} &= \frac{I_p + I_s}{2} \\ &= \frac{19,95 \text{ A} + 40,41 \text{ A}}{2} \\ &= 30,18 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Selisih } (I_{diff}) &= |I_p - I_s| \\ &= |19,95 \text{ A} - 40,41 \text{ A}| \\ &= \mathbf{20,46 \text{ A}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Slope } (\%) &= \frac{I \text{ Selisih}}{I \text{ Restrain}} \times 100\% \\ &= \frac{20,46 \text{ A}}{30,18 \text{ A}} \times 100\% \\ &= 67,8 \% \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas didapatkan *slope* sebesar 67,8 %. Sedangkan perbedaan arusnya (I_{diff}) adalah 20,46 A. Sehingga ketika gangguan diluar, *slope* tertinggi adalah 67,8 % dan I_{diff} tertinggi adalah 20,46 A.

Maka untuk *setting slope* rele diferensial trafo ET-9010A di sarankan adalah 78 % . Sedangkan untuk *setting I_{diff}* adalah $2 I_n$. Berdasarkan standar *Technical Guide Curren Differential Protection Relay MiCOM*, *setting slope* 30% - 150% dan *setting I_{diff}* $1 I_n - 30 I_n$.

Untuk menguji hasil dari *setting* yang telah di tentukan, maka dilakukan perhitungan ketika gangguan didalam yaitu gangguan tiga fasa

dan gangguan dua fasa di sisi sekunder trafo. Untuk perhitungan ketika gangguan 3 fasa di dalam adalah ebagai berikut :

$$\begin{aligned} I \text{ pada sekunder CT1 } (Ip) &= \left(\frac{3680}{500} \right) \times 5 \times 1,05 \\ &= 38,64 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I \text{ pada sekunder CT2 } (Is) &= \left(\frac{10440}{6000} \right) \times 5 \times 0,95 \\ &= 8,5025 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Restrained} &= \frac{Ip + Is}{2} \\ &= \frac{38,64 \text{ A} + 8,5025 \text{ A}}{2} \\ &= 15,069 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Selisih } (I_{diff}) &= |Ip + Is| \\ &= |38,64 \text{ A} + 8,5025 \text{ A}| \\ &= \mathbf{47,1425 \text{ A}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Slope } (\%) &= \frac{I_{Selisih}}{I_{Restrained}} \times 100\% \\ &= \frac{47,1425 \text{ A}}{15,069 \text{ A}} \times 100\% \\ &= 312,85 \% \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas didapatkan *slope* sebesar 312,85 %. Sedangkan perbedaan arusnya (I_{diff}) adalah 47,1425 A atau 9,5 I_n . Sehingga rele diferensial bekerja.

Selanjutnya untuk perhitungan terhadap arus gangguan dua fasa di dalam adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} I \text{ pada sekunder CT1 } (Ip) &= \left(\frac{1900}{500} \right) \times 5 \times 1,05 \\ &= 19,95 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I \text{ pada sekunder CT2 } (I_p) &= \left(\frac{6920}{6000} \right) \times 5 \times 0,95 \\
 &= 5,4783 \text{ A}
 \end{aligned}$$

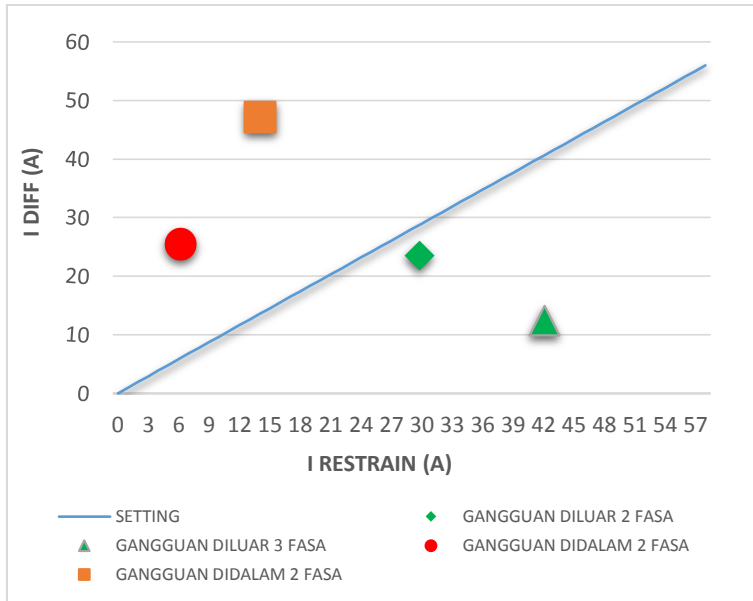
$$\begin{aligned}
 \text{Restraint} &= \frac{I_p + I_s}{2} \\
 &= \frac{19,95 \text{ A} - 5,4783 \text{ A}}{2} \\
 &= 7,2358 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Selisih } (I_{diff}) &= |I_p - I_s| \\
 &= |19,95 \text{ A} + 5,4783 \text{ A}| \\
 &= \mathbf{25,4283 \text{ A}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Slope } (\%) &= \frac{I \text{ Selisih}}{I \text{ Restrain}} \times 100\% \\
 &= \frac{25,4283 \text{ A}}{7,2358 \text{ A}} \times 100\% \\
 &= 351,42 \%
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas didapatkan *slope* sebesar 351,42 %. Sedangkan perbedaan arusnya (*Idiff*) adalah 25,4283 A atau 5,1 I_n . Sehingga rele diferensial bekerja.

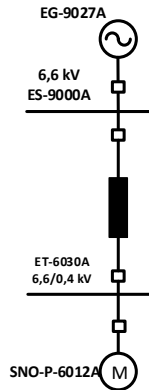
Untuk mempermudah memahami mengenai prinsip kerja dan daerah operasi dari rele diferensial diatas, maka dijelaskan pada gambar grafik di bawah ini.



Gambar 4.19 Daerah operasi rele diferensial

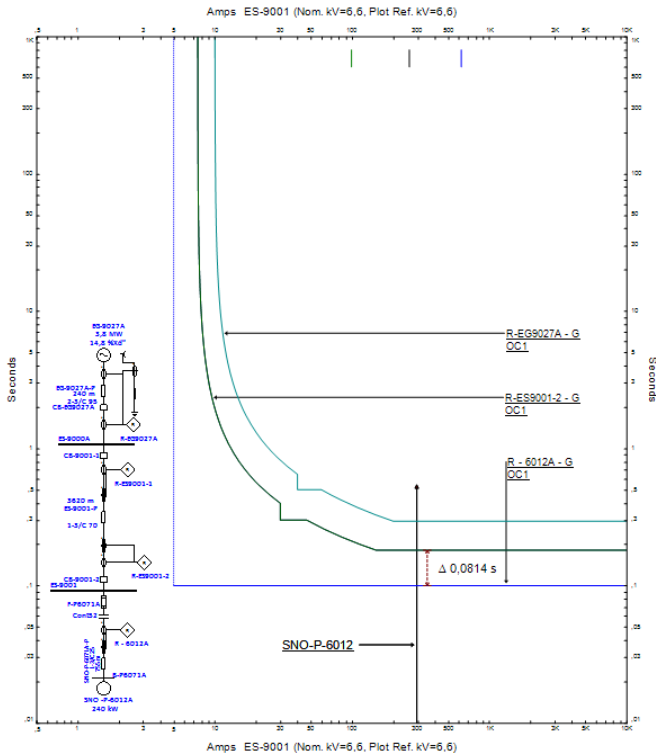
4.6 Koordinasi Rele Arus Gangguan ke Tanah

Selain rele arus gangguan fasa, rele arus gangguan ke tanah juga perlu dikoordinasikan untuk mengatasi gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah. Nilai arus hubung singkat ini dipengaruhi oleh *Neutral Grounding Resistor* (NGR) yang dipasang pada *grounding* peralatan. Pada tipikal ini, rele pengaman yang dikoordinasikan adalah rele R-6012A, rele R-ES9001 dan rele R-EG9027. Koordinasi tipikal ini ditunjukkan oleh gambar 4.19 berikut ini :



Gambar 4.20. *Single line diagram* tipikal 5 gangguan fasa ke tanah

Untuk melakukan evaluasi terhadap *setting eksisting*, maka perlu disimulasikan dengan cara memberikan gangguan dan melihat apakah rele sudah terkoordinasi dengan baik atau tidak. Setelah dilakukan simulasi terhadap gangguan, dilakukan plot kurva TCC (*Time Current Characteristic*) . Hasil simulasi pada rele eksisting terlihat pada gambar 4.21 dibawah ini.



Gambar 4.21 Plot kurva rele pengaman arus gangguan tanah *eksisting*

Dari gambar diatas terlihat bahwa waktu kerja rele pengaman utama dan rele pengaman *backup* hanya selisih 0,0814 s. Hal ini kurang tepat karena akan menyebabkan kedua rele bekerja bersamaan. Selain itu, rele pengaman gangguan fasa ke tanah masih menggunakan kurva *invers*. Oleh karna itu disarankan untuk melakukan *resetting* dan hanya menggunakan kurva waktu instan (*definite time*) saja.

Berikut ini perhitungan parameter-parameter dari masing-masing rele pada tipikal gangguan fasa ke tanah.

Rele R-6012A

Manufacturer : Merlin Gerin

Model : Sepam 80

Curve : *Definite Time*
 CT Ratio : 50/5
 Isc LG : 302 A

Instantaneous Pickup

$$5 - 10\% \times \text{Isc LG} < I_{\text{set}} < 50\% \times \text{Isc LG}$$

$$5\% \times 302 \text{ A} < I_{\text{set}} < 50\% \times 302 \text{ A}$$

$$15,1 \text{ A} < I_{\text{set}} < 151 \text{ A}$$

Dipilih Iset = 20 A

$$\text{Maka pickup} = \frac{I_{\text{set}}}{\text{CT Primery}} = \frac{20}{50} = 0,4$$

Time delay

dipilih *time delay* = 0,1 detik

Rele R-ES9001

Manufacturer : Merlin Gerin
Model : Sepam 40
Curve : *Definite Time*
CT Ratio : 75/5
 Isc LG : 302 A

Instantaneous Pickup

$$5 - 10\% \times \text{Isc LG} < I_{\text{set}} < 50\% \times \text{Isc LG}$$

$$5\% \times 302 \text{ A} < I_{\text{set}} < 50\% \times 302 \text{ A}$$

$$15,1 \text{ A} < I_{\text{set}} < 151 \text{ A}$$

Dipilih Iset = 20 A

$$\text{Maka pickup} = \frac{I_{\text{set}}}{\text{CT Primery}} = \frac{20}{75} = 0,26667$$

Time delay

dipilih *time delay* = 0,3 detik

Rele R-EG9027A

Manufacturer : Merlin Gerin
Model : Sepam 80
Curve : *Definite Time*
CT Ratio : 100/5
 Isc LG : 302 A

Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned} 5 - 10\% \times I_{sc} \text{ LG} &< I_{set} < 50\% \times I_{sc} \text{ LG} \\ 5\% \times 302 \text{ A} &< I_{set} < 50\% \times 302 \text{ A} \\ 15,1 \text{ A} &< I_{set} < 151 \text{ A} \end{aligned}$$

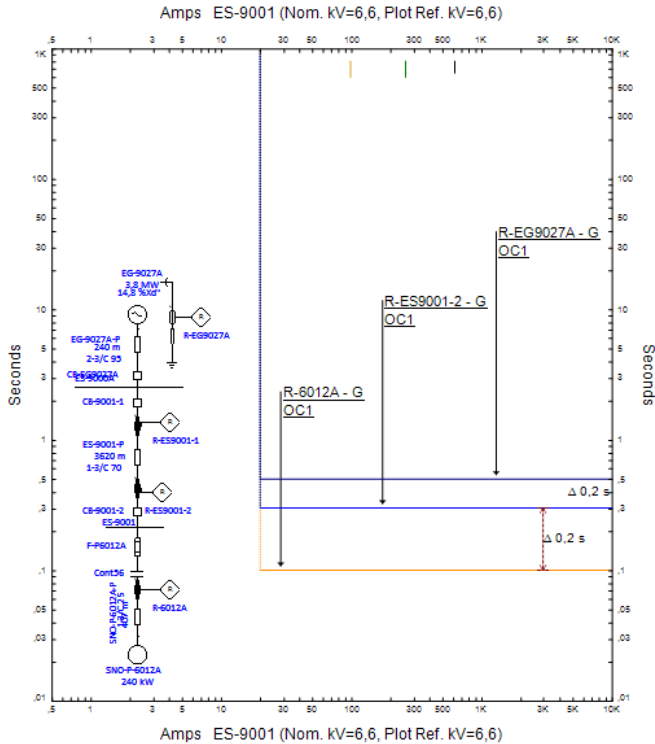
Dipilih $I_{set} = 20 \text{ A}$

$$\text{Maka } pickup = \frac{I_{set}}{CT \text{ Primery}} = \frac{20}{100} = 0,2$$

Time delay

dipilih $time \text{ delay} = 0,5 \text{ detik}$

Setelah melakukan perhitungan manual seperti diatas, maka selanjutnya dibuatlah plot kurva koordinasi pengaman. Pada gambar 4.20 ditunjukkan plot kurva koordinasi pengaman setelah dilakukan *resetting* dari tipikal arus gangguan ke tanah.



Gambar 4.21 Plot kurva rele pengaman arus gangguan ke tanah *resetting*

Sesuai hasil *plot* kurva pada gambar 4.22 dapat disimpulkan bahwa :

- Rele arus lebih gangguan ke tanah pada satu level tegangan sebaiknya disamakan dalam penentuan Iset nya. Karena arus gangguan ke tanah pada satu level tegangan nilai arusnya sama.
- Rele arus lebih gangguan ke tanah dikoordinasikan dengan *grading time* antar rele adalah 0,2 s untuk menghindari rele bekerja bersamaan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil *setting* koordinasi rele pengaman pada PT Pertamina Job Medco Energi Tomori Field Senoro yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada *setting eksisting* arus lebih gangguan fasa tipikal 1, 2 dan 3, terdapat kekeliruan yaitu pada *setting time dial*-nya. Kesalahan ini menyebabkan rele utama dan rele *backup* bekerja bersama karen *grading time*-nya kurang dari 0,2s.
2. Pada *setting* rele differensial trafo tipikal 4, telah dilakukan perhitungan sehingga dapat ditentukan untuk *setting slope* pada trafo ET9010 adalah 76% sedangkan *setting Idiff* adalah 2In.
3. Pada *setting eksisting* rele arus lebih gangguan ke tanah tipikal 5, terdapat kekeliruan yang sama dengan tipikal 1,2 dan 3 yaitu pada *setting time dial*-nya. Sehingga telah dilakukan *resetting* terhadap koordinasi rele arus lebih gangguan ke tanah yang diambil dari beban motor 6,6 kV hingga generator. Pada perhitungan tipikal ini ditentukan nilai $I_{set} = 20A$ dengan *grading time* 0.2s. Sehingga apabila terjadi hubung singkat 1 fasa ke tanah maka rele ini dapat bekerja dengan baik.

5.2 Saran

1. Pada *setting* rele differensial trafo dapat dijadikan pertimbangan agar rele differensial pada trafo ET9010 dan ET9011 dapat dipasang.
2. Pada *setting* rele yang terdapat pada tugas akhir ini, dapat dijadikan pertimbangan dan referensi untuk melakukan *resetting* yang sebenarnya.
3. Rele pengaman gangguan tanah disarankan menggunakan kurva instan atau *definite time* saja.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

1. IEEE Std 242-2001™, “*IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems*”, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, Ch. 15, 2001.
2. Wahyudi, “*Diktat Kuliah Pengaman Sistem Tenaga Listrik*”, Teknik Elektro ITS, Surabaya, Bab 2, 2004
3. Cahier Technique No. 158. “*Calculation of Short Circuit Currents*”, Shneider Electric, 2005.
4. Anderson, P.M, “*Power System Protection*”, John Wiley & Sons, Inc., Canada, Ch. 3, 1998
5. Gers, Juan M., dan Holmes, Edward J., “*Protection of Electrical Distribution Network 2nd Edition*”, The Institution of Electrical Engineers, London, Ch. 5, 2004
6. Gurevich, Vladimir, “*Electric Relays, Principle and Application*”, CRC Press, USA, Ch. 10, 2006.
7. PT. PLN (Persero). “*Konsep Dasar Sistem Proteksi Gardu Induk*”. Pusat Pendidikan dan Pelatihan: Indonesia, 2014.
8. Aripa Dwi, Iqbal. “*Analisis Sistem Distribusi dan Koordinasi Proteksi Sistem 33 kV Akibat terjadinya Short Circuit pada Transformator TH-TR-01 di Island Tanjung Harapan PT. PUPUK KALTIM Menggunakan Metode Review by Evident*”. Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh Nopember: Surabaya, 2016.
9. Hirlanda Dwi, Andikta. “*Koordinasi Proteksi Pada Sistem Distribusi 33 kV PT. PERTAMINA RU IV Cilacap Akibat Penambahan Generator 3X15 MW*”. Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh Nopember: Surabaya, 2013.
10. Technical Guide, “*MiCOM P541/2/3/4/5/6: Current Differential Protection Relay*”, ALSTOM. 2013.

Halaman ini sengaja dikosongkan

One-Line Diagram - Scenario-1 (Star Sequence-of-Operation)



RIWAYAT HIDUP PENULIS



Abdul Wakil lahir di Sampang pada tanggal 13 Oktober 1993. Penulis adalah anak ke-enam dari sembilan bersaudara. Penulis menempuh pendidikan dasar di SDN Tamba'an II Camplong Sampang pada tahun 1995-2005, kemudian SMPN 1 Camplong Sampang pada tahun 2005-2008, dan lulus dari SMAN 1 Sampang pada tahun 2011. Pada tahun 2011, penulis diterima sebagai mahasiswa di jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) dan mengambil bidang studi Teknik Sistem Tenaga. Semasa kuliah, penulis aktif di Badan Eksekutif Mahasiswa sebagai Direktur Jendral Bidang Akademik Kementerian Kesejahteraan Mahasiswa BEM ITS 2015-2016 dan juga aktif sebagai asisten Laboratorium Instrumentasi Pengukuran dan Identifikasi Sistem Tenaga 2014-2016. Penulis dapat dihubungi melalui email abdulwakil067@gmail.com

Halaman ini sengaja dikosongkan